



**Evaluación del potencial antioxidante y contenido fenólico en granos procesados de la
variedad Arábigo en la Provincia de Loja, Ecuador**

Cachumba Punina Ingrid Domenica

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Biotecnóloga

Ph.D. Mihai Raluca Alexandra

04 de agosto de 2026



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | ESPE-ECU

CACHUMBA PUNINA INGRID DOMENICA_L00387777_TESSIS

ID : c08a588ed886986c6850795756931b7e29c48be0



<1%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : CACHUMBA PUNINA INGRID
DOMENICA_L00387777_TESSIS.txt
Tamaño del archivo original : 873,73 kB
Número de palabras : 12.686

Depositante : RALUCA ALEXANDRA MIHAI
Fecha de depósito : 24 de julio de 2026
Tipo de carga : Interface
fecha de fin de análisis : 24 de julio de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Similitudes

<1%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA

0%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



Textos entre comillas

0%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Ph.D. Mihai, Raluca Alexandra

Director/a

C.C.: 1757487507



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Evaluación del potencial antioxidante y contenido fenólico en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, Ecuador”** fue realizado por la señorita **Cachumba Punina Ingrid Domenica**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. Además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de agosto de 2026.

Ph.D. Mihai, Raluca Alexandra

Director/a

C.C.: 1757487507



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Cachumba Punina Ingrid Domenica**, con cédula de ciudadanía n° 1718900564, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación del potencial antioxidante y contenido fenólico en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, Ecuador** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 24 de agosto de 2026

Cachumba Punina Ingrid Domenica

C.C.: 1718900564



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Autorización de Publicación

Yo **Cachumba Punina Ingrid Domenica**, con cédula de ciudadanía n° 1718900564, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación del potencial antioxidante y contenido fenólico en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, Ecuador** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 24 de agosto de 2026

Cachumba Punina Ingrid Domenica

C.C.: 1718900564

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, la mujer de quien recibí el nombre y la vida, Erminia, mi mayor fuente de inspiración, mi amiga incondicional, la luz y guía de mi camino, sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible. A mi hermano Santiago, mi mayor ejemplo de resiliencia, por darme su apoyo en todo momento, por siempre escucharme y ser mi amigo, por darme alas para volar. De igual manera, dedico este trabajo a mi querida tía Laura que pese a la distancia siempre estuvo apoyándome en todo este proceso y jamás permitió que yo cayera. Este trabajo es el resultado de todo ese amor que me sostuvo.

Cachumba Punina, Ingrid Domenica

Agradecimiento

Agradezco a Dios, quien con su amor leal me protegió y cuidó durante esta etapa de mi vida. A mis padres, por todo su esfuerzo y por el respaldo que me brindaron en toda mi carrera universitaria. A mi familia materna por apoyarme, brindarme todo su amor y hacerme sentir siempre en casa. Agradezco también a mis queridas amigas Elizabeth, Melanie, María, Marjorie y Lady que me han brindado su valiosa amistad, en tiempos difíciles su amistad me salvó de mil formas. Finalmente, quiero agradecer a mi tutora por darme apertura a ser parte de este proyecto y por su apoyo durante la elaboración de este trabajo.

Índice de contenidos

Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Resumen	13
Abstract.....	14
Capítulo I	15
Introducción	15
Planteamiento del problema.....	16
Formulación del problema o pregunta de investigación.....	17
Pregunta principal de la investigación	17
Preguntas específicas de la investigación.....	17
Objetivos.....	18
Objetivo General	18
Objetivos específicos:	18
Capítulo II	20
Estado del arte.....	20
Marco teórico	22
El café (<i>Coffea</i> spp.)	22
<i>Coffea arabica</i> L.....	23
Composición química de los granos de café	25
<i>Ácidos Fenólicos</i>	25
<i>Flavonoides</i>	25

<i>Actividad antioxidante</i>	26
Efectos del procesamiento en el café.....	26
Métodos de análisis	28
<i>Ensayo del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)</i>	28
<i>Ensayo Folin-Ciocalteu</i>	28
<i>Ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio</i>	29
Capítulo III.....	31
Metodología.....	31
Enfoque de investigación	31
Tipo y diseño de investigación	31
Área de estudio.....	31
Obtención de muestras para estudio.....	32
Extracción de compuestos	34
Determinación de compuestos fenólicos totales.....	34
<i>Ensayo Folin-Ciocalteu</i>	34
Análisis de concentración de Flavonoides totales	35
<i>Ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio</i>	35
Evaluación del carácter antioxidante.....	36
<i>Ensayo del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)</i>	36
Análisis estadístico	37
Capítulo IV	39
Resultados.....	39
Evaluación del carácter antioxidante.....	40
<i>Método DPPH</i>	40
Análisis estadístico interpretativo	41
<i>Análisis de varianza ANOVA</i>	42

<i>Prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey</i>	43
Análisis de concentración de Flavonoides totales	45
<i>Ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio</i>	45
Análisis estadístico interpretativo	46
<i>Análisis de varianza ANOVA</i>	47
<i>Prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey</i>	48
Análisis de concentración de compuestos Fenólicos totales	49
<i>Ensayo colorimétrico Folin-Ciocalteu</i>	49
Análisis estadístico interpretativo	51
<i>Análisis de varianza ANOVA</i>	52
<i>Prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey</i>	53
Análisis y discusión de los resultados	54
Capítulo V	60
Conclusiones	60
Recomendaciones	61
Referencias	62

Índice de tablas

Tabla 1. Respuestas experimentales obtenidas mediante el ensayo DPPH de la actividad antioxidante en granos de <i>Coffea arabica</i> L. procesados.....	40
Tabla 2. Análisis de supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad de varianzas (Levene) de las concentraciones finales de la actividad antioxidante.....	41
Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) de los valores finales obtenidos de la actividad antioxidante (DPPH).....	42
Tabla 4. Comparaciones múltiples de Tukey para la actividad antioxidante (DPPH) según el grado de tueste.....	43
Tabla 5. Concentración de Flavonoides totales determinada mediante el ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio en granos de <i>Coffea arabica</i> L. procesados.....	45
Tabla 6. Evaluación de supuestos estadísticos (normalidad) y (homocedasticidad de varianzas) aplicadas a las concentraciones finales de flavonoides totales.....	46
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones finales de flavonoides totales obtenidas.....	47
Tabla 8. Comparaciones múltiples de Tukey para el contenido de flavonoides totales según el grado de tueste.....	48
Tabla 9. Concentración de compuestos fenólicos totales determinada mediante el ensayo colorimétrico Folin-Ciocalteu en granos de <i>Coffea arabica</i> L. procesados.....	50
Tabla 10. Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad de varianzas (Levene) aplicadas a las concentraciones finales de compuestos fenólicos totales.....	51
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones cuantificadas de compuestos fenólicos totales.....	52
Tabla 12. Comparaciones múltiples de Tukey para el contenido de compuestos fenólicos según el grado de tueste.....	53

Índice de figuras

Figura 1. <i>Coffea arabica</i> L. variedad Typica proveniente de la provincia de Loja	24
Figura 2. Representación de la reacción ocurrida entre el DPPH y un antioxidante.....	28
Figura 3. Reacción redox del método de Folin-Ciocalteu	29
Figura 4. Formaciones complejas de quelato de Al (III)-flavonoide	30
Figura 5. Ubicación geográfica de la zona de origen de las muestras en estudio en Ecuador, Loja, cantón Puyango, sector El Naranjal, finca “Don Flori”	32
Figura 6. Muestras de granos de <i>Coffea arabica</i> L.	33
Figura 7. Muestras de <i>Coffea arabica</i> L. molidas	33
Figura 8. Extractos etanólicos de muestras de café tueste claro, tueste medio, tueste oscuro	39
Figura 9. Gráfico Q-Q Plot para el análisis de normalidad de los datos de la actividad antioxidante	42
Figura 10. Comparación de la actividad antioxidante (DPPH) entre las muestras de <i>Coffea arabica</i> L. procesado	44
Figura 11. Diagrama Q-Q Plot para evaluar la distribución normal de los datos de la concentración de flavonoides totales	47
Figura 12. Comparación de la concentración de flavonoides totales entre las muestras de <i>Coffea arabica</i> L. procesado	49
Figura 13. Gráfico Q-Q Plot para el análisis de normalidad de los datos de la concentración de compuestos fenólicos totales	52
Figura 14. Comparación de la concentración de compuestos fenólicos totales entre las muestras de <i>Coffea arabica</i> L. procesado.....	54

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo evaluar el potencial antioxidante y contenido fenólico en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, Ecuador. Con este fin, se obtuvieron extractos de los granos de *Coffea arabica* L. previamente molidos, este proceso se hizo por cuadruplicado de manera independiente para cada muestra, las cuales se clasificaron según su grado de tueste en: claro, medio y oscuro. Se determinó la concentración de compuestos fenólicos totales mediante el método Folin-Ciocalteu, se analizó la concentración de flavonoides a través del método de cloruro de aluminio y se evaluó el carácter antioxidante con el método DPPH. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico que incluyó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal de los datos, la prueba de Levene para verificar homogeneidad de varianzas y las pruebas ANOVA y Tukey para verificar diferencias significativas entre las muestras. Los resultados obtenidos evidenciaron un mayor contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante en las muestras de *Coffea arabica* L. procesadas correspondientes al tueste claro, seguido de las muestras correspondientes al tueste medio y finalmente las muestras con grado de tueste oscuro que presentaron los valores más bajos. A partir de esto, se concluyó que los granos de *Coffea arabica* L. procesados mantienen, aunque en diferentes concentraciones, la presencia de actividad antioxidante, compuestos fenólicos y flavonoides totales. Demostrando así que, *Coffea arabica* L. procesado presenta un potencial funcional incluso después de su procesamiento.

Palabras clave: actividad antioxidante, flavonoides, compuestos fenólicos.

Abstract

This research aimed to evaluate the antioxidant potential and phenolic content of processed Arabica coffee beans from the Loja Province of Ecuador. To this end, extracts were obtained from previously ground *Coffea arabica* L. beans. This process was performed in quadruplicate independently for each sample, which were then classified according to their roast level: light, medium, and dark. The concentration of total phenolic compounds was determined using the Folin-Ciocalteu method, the concentration of flavonoids was analyzed using the aluminum chloride method, and the antioxidant capacity was evaluated using the DPPH method. The data obtained were subjected to statistical analysis, including the Shapiro-Wilk test to verify the normal distribution of the data, Levene's test to verify homogeneity of variances, and ANOVA and Tukey's tests to verify significant differences between the samples. The results showed a higher content of total phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant activity in the processed *Coffea arabica* L. samples from the light roast stage, followed by the medium roast samples, and finally the dark roast samples, which presented the lowest values. From this, it was concluded that processed *Coffea arabica* L. beans retain, albeit at different concentrations, the presence of antioxidant activity, phenolic compounds, and total flavonoids. This demonstrates that processed *Coffea arabica* L. exhibits functional potential even after processing.

Keywords: antioxidant activity, flavonoids, phenolic compounds.

Capítulo I

Introducción

El café (*Coffea* spp.) es uno de los cultivos con mayor importancia económica a nivel mundial, actualmente ocupa un lugar importante dentro de los principales productos de consumo comercial y es una de las bebidas más consumidas en el mundo (FAO, 2024). El género *Coffea* comprende alrededor de 80 especies, entre las cuales destaca la especie *Coffea arabica* L. conocida comúnmente como café arábigo. Esta es una de las especies de mayor importancia comercial, reconocida por la alta calidad sensorial de sus granos y ampliamente apreciada por los consumidores (Mihai et al., 2024).

Diversos estudios han asociado el consumo de café con una menor incidencia en los riesgos ocasionados por enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, enfermedades autoinmunes e incluso ciertos tipos de cáncer, este efecto se atribuye principalmente al contenido de metabolitos secundarios presentes en los granos y a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Los componentes bioactivos del café se pueden dividir en tres categorías principales: compuestos fenólicos, flavonoides y alcaloides (Wu, Lu, et al., 2022).

Los granos de café verde contienen diversos ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, entre ellos, ácido clorogénico, quínico, cítrico y málico, que se producen de manera natural y se acumulan en los granos de café a medida que estos maduran (Makiso et al., 2024). Los ácidos clorogénicos son los compuestos con mayor presencia en los granos de café, estos compuestos son una clase de ésteres derivados de varios ácidos hidroxicinámicos y ácido quínico (Lu et al., 2020). Durante el proceso de tostado, la composición ácida de los granos de café sufre modificaciones; los ácidos clorogénico, cítrico y málico se degradan, y la concentración de ácido quínico incrementa (Yashin et al., 2013).

En Ecuador, el café representa uno de los cultivos de mayor relevancia económica y social, por su contribución al desarrollo del sector agrícola y a la generación de empleo (Basantes-Vizcaíno & Orihuela, 2024). El 68% de las plantaciones de café en Ecuador

producen *Coffea arabica* L., y el 32% restante produce *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. La especie con mayor importancia económica es *C. arabica* L. Su cultivo prospera en altitudes que oscilan entre 1500 y 2000 msnm. Entre las principales variedades cultivadas en el país se encuentran Típica, Caturra, Bourbón, Pacas, Catuai y Catimor (Mihai et al., 2024).

La provincia de Loja es una de las provincias de mayor producción de *Coffea arabica* L. en Ecuador, ocupando el segundo lugar en extensión de cultivos de café, concentrando áreas de cultivo en cantones como Puyango, Chaguarpamba, Olmedo, Paltas y Vilcabamba (Rodríguez Chamba, 2020). El café representa uno de los productos insignia de la provincia de Loja, reconocida por su tradición cafetalera, su aporte al desarrollo social y económico lo posiciona como una de las principales fuentes de ingreso de sus productores.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el potencial antioxidante y el contenido fenólico en granos procesados de la variedad Arábigo en la provincia de Loja, Ecuador. Los resultados obtenidos en este estudio aportan nueva información y complementan la ya existente sobre la composición fitoquímica del café procesado de Loja. Además, resaltan la importancia de las propiedades bioactivas de este producto proporcionando información que será de utilidad para productores, consumidores e investigadores.

Planteamiento del problema

Diversos estudios han asociado el consumo de café con una menor incidencia de ciertos riesgos para la salud, efecto que se atribuye principalmente al contenido de metabolitos secundarios presentes en sus granos (Samoggia & Riedel, 2019). Los granos de café contienen una variedad de compuestos bioactivos, se estima que una taza de café puede llegar a tener entre 200 y 550 mg de compuestos fenólicos (Chaves-Ulate & Esquivel-Rodríguez, 2019).

Estos compuestos poseen propiedades antioxidantes, que contribuyen a la protección contra el daño causado por especies reactivas de oxígeno (ROS) y el estrés oxidativo, mediante mecanismos de aporte de átomos de hidrógeno. No obstante, el contenido y la

composición de estos compuestos bioactivos pueden variar en función de la variedad del café, las condiciones de almacenamiento y los procesos de transformación aplicados durante su procesamiento (Wu, Gu, et al., 2022).

En este contexto, existe limitada información científica a nivel local acerca de la concentración de compuestos fenólicos y el carácter antioxidante presente en los granos procesados de *Coffea arabica* L., producidos en la provincia de Loja. Esta falta de información representa una oportunidad para determinar la concentración de compuestos bioactivos presentes en esta especie y revalorizar este producto como recurso con potencial funcional.

Por lo tanto, se hace necesario evaluar el contenido fenólico y el potencial antioxidante de los granos procesados de *Coffea arabica* L., usando técnicas espectrofotométricas basadas en reacciones colorimétricas como el ensayo de DPPH, el método del Cloruro de Aluminio y el método Folin-Ciocalteu, con el fin de generar evidencia científica que permita establecer el perfil bioactivo del café producido en la provincia de Loja.

Formulación del problema o pregunta de investigación

Pregunta principal de la investigación

¿Cuál es la concentración de compuestos fenólicos totales, flavonoides y carácter antioxidante en granos procesados de la variedad Arábigo en la provincia de Loja, Ecuador?

Preguntas específicas de la investigación

- ¿Cuál es la concentración de compuestos fenólicos totales determinada mediante el método Folin-Ciocalteu en granos procesados de la variedad Arábigo provenientes de la provincia de Loja?
- ¿Cuál es la concentración total de flavonoides determinada mediante el ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio en granos procesados de la variedad Arábigo provenientes de la provincia de Loja?
- ¿Cuál es el carácter antioxidante determinado mediante el ensayo DPPH en granos procesados de la variedad Arábigo provenientes de la provincia de Loja?

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el potencial antioxidante y contenido fenólico en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, Ecuador.

Objetivos específicos:

- Determinar la concentración de compuestos fenólicos totales, con el método Folin Ciocalteu, en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja.
- Analizar la concentración de flavonoides, con el método de Cloruro de Aluminio en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja.
- Evaluar el carácter antioxidante en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, a través del método DPPH.

Justificación

En los últimos años el mercado mundial de café ha alcanzado una gran influencia en la economía global. El consumo de café instantáneo, cápsulas de café recién molido, café descafeinado, son productos de gran demanda por los consumidores de café. Esta bebida tradicional constituye uno de los productos más importantes en la economía mundial de varios países (Freitas et al., 2024).

El cultivo de café en Ecuador es una de las actividades de mayor importancia económica, social y ambiental en el país. Las condiciones climáticas, la altura y posición geográfica, hacen que Ecuador sea uno de los pocos países que producen tanto las especies *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. Entre ellas, *C. arabica* L. destaca como la especie de mayor importancia económica, su producción abarca varias provincias del país

La provincia de Loja, ubicada en la región Sur del Ecuador, ocupa el segundo lugar de provincias con mayor superficie de café cultivado. La especie *C. arabica* L., perteneciente a la

provincia destaca como una de las mejores a nivel nacional e internacional, convirtiéndolo en un producto de gran interés a nivel local y extranjero (Jaramillo Sánchez & Vera, 2021).

Los granos de café poseen una variedad de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes atribuidas a la presencia de compuestos fenólicos, sin embargo, el contenido de dichos compuestos puede verse afectado por el procesamiento del café. Existe evidencia científica que demuestra que el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante de los granos de café se ve influenciado por el procesamiento al que es sometido el café antes de su consumo (Liao et al., 2022).

Aunque existen investigaciones que evalúan el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en *C. arabica* L., incluyendo estudios realizados en la provincia de Loja, bajo diferentes estados de procesamiento, perfiles de extracción y métodos de preparación de la bebida, es necesario ampliar y complementar la información disponible sobre el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y carácter antioxidante presentes en granos de café procesados de la especie *Coffea arabica* L., producido en la provincia de Loja, utilizando ensayos espectrofotométricos colorimétricos específicos.

Asimismo, este trabajo pretende generar información relevante para productores, consumidores y comunidad científica, resaltando la importancia de conservar las propiedades bioactivas del café durante su procesamiento. De esta manera, se aportará a la revalorización del café ecuatoriano, fomentando prácticas sostenibles y competitivas que fortalezcan la identidad cafetalera de Loja en el contexto nacional e internacional.

Capítulo II

Estado del arte

En todo el mundo, existen más de 85 especies de café conocidas, sin embargo, solo *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner son mayormente producidas, comercializadas y consumidas por la población. Ambas especies destacan por ser ricas en compuestos fenólicos y antioxidantes, tanto en grano de café verde como tostado (Erskine et al., 2022).

Entre los principales compuestos presentes en *Coffea arabica* L., se encuentran los ácidos cafeoilquínico y feruloilquínico que, además de contribuir a las características organolépticas del café, como su sabor amargo, ácido y astringente, presentan una alta capacidad antibacteriana, antiviral, quimiopreventiva y antioxidante (Wu, Lu, et al., 2022).

En un estudio realizado por Atavillos Dominguez et al., (2020) se evaluó la actividad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos presentes en granos de café tostado comercial. Los resultados demostraron que el café tostado presenta una actividad antioxidante importante, la cual, está asociada a la presencia de compuestos fenólicos en los granos.

La detección de la actividad antioxidante se lleva a cabo a través de métodos químicos como el ensayo DPPH, un método colorimétrico que permite evaluar la capacidad antioxidante de compuestos bioactivos a través de mediciones espectrofotométricas de absorbancia a una longitud de onda específica (Liang & Kitts, 2014). Otro método ampliamente utilizado es el ensayo Folin-Ciocalteu (FC), una técnica colorimétrica de medición espectrofotométrica que permite determinar el contenido total de fenoles presentes en una muestra (Pokharel et al., 2023).

Aplicando estas metodologías Pokharel et al., (2023) determinaron la actividad antioxidante y el contenido total de fenoles a través del ensayo DPPH y el ensayo Folin-Ciocalteu (FC), respectivamente, en granos de café verde y tostado del taxón *Coffea arabica* L. Los resultados mostraron que la actividad antioxidante en los granos de café tostado era mayor

que en los granos verdes y el contenido total de fenoles fue mayor en las muestras de café verde que en los granos tostados.

Por otra parte, existe otro método colorimétrico con cloruro de aluminio, el cual, se usa para medir flavonoides totales en extractos vegetales y alimentos. Este método emplea cloruro de aluminio como agente complejante, formando complejos estables entre flavonoides y el ion Al (III), cuya absorbancia es posteriormente medida a través de espectrofotometría a una longitud de onda específica (Shraim et al., 2021).

Bajo este enfoque Pratiwi et al., (2025) emplearon el método de cloruro de aluminio para evaluar el efecto de tratamientos poscosecha en el contenido total de flavonoides (TFC) en granos de café procesados de la especie *Coffea arabica* L. El ensayo colorimétrico permitió cuantificar flavonoides totales en las muestras y evidenció que el mayor contenido de flavonoides se encontraba en el café procesado mediante el método Luwak.

El procesamiento del café es uno de los factores que más afecta al contenido de compuestos metabólicos presentes en los granos. Especialmente durante la etapa del tueste, este proceso es en parte responsable de los atributos característicos de los granos de café como el sabor, aroma y color. Sin embargo, durante este proceso térmico, los compuestos fenólicos, flavonoides, aminoácidos, cafeína y moléculas bioactivas presentes en los granos de café sufren transformaciones químicas que interfieren en la calidad sensorial y el potencial del café (Ali et al., 2022).

Ali et al., (2022) analizaron muestras de café colombiano tostado de la especie *Coffea arabica* L.; tueste ligero, medio, ciudad, francés e italiano con el fin de identificar el impacto del tueste en sus compuestos. Los resultados fueron que, aquellos granos sometidos a tueste ligero poseían una buena capacidad antioxidante, no por el contrario, las muestras sometidas a tuestes más oscuros disminuían su actividad significativamente. Así mismo, el contenido de compuestos fenólicos específicamente el de los ácidos clorogénicos totales, disminuía conforme aumentaba la intensidad de tostado de las muestras de café.

En otro estudio realizado por Badr et al., (2018) se comprobó que el grado de tostado influía también en el contenido total de flavonoides en granos tostados de *Coffea arabica* L. Las muestras tostadas a temperaturas más bajas lograban preservar un mayor contenido de flavonoides en comparación con aquellas sometidas a tuestes más intensos. Estos estudios demuestran que existe un efecto sobre la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides presentes en los granos de café después del proceso de tueste.

En el contexto ecuatoriano el cultivo de café en Ecuador es una de las actividades de mayor importancia económica y social en varias provincias del país. La mayor parte de plantaciones de café corresponden a *C. arabica* L., siendo esta una de las especies de mayor importancia económica en Ecuador. Su cultivo es estacional y presenta una amplia adaptabilidad a temperaturas que van desde los 17 a los 23°C (Mihai et al., 2024).

La provincia de Loja se destaca como una de las principales provincias productoras de *Coffea arabica* L. en Ecuador, su cultivo representa el 16% de la producción total nacional (Freire Muñoz, 2025). El café constituye uno de los productos emblemáticos de la provincia, su producción juega un papel importante en la economía activa de las familias lojanas. El 93,54% de la producción de café se destina a la venta mientras que un 6,56% se almacena para autoconsumo (Gomez Aguilar, 2024).

Existen varios estudios donde evalúan el contenido fenólico, flavonoide y capacidad antioxidante en *Coffea arabica* L., incluyendo estudios en la provincia de Loja. Sin embargo, aunque estas investigaciones emplean diferentes métodos de extracción, estado del futo, estado de procesamiento, es necesario generar más información sobre el contenido de estos compuestos en granos de *C. arabica* L. producidos en Loja.

Marco teórico

El café (*Coffea* spp.)

El género *Coffea* L. perteneciente a la familia Rubiaceae constituye un taxón importante de angiospermas. Este género se caracteriza por árboles o arbustos pequeños de hoja

perenne, y una producción de pequeños frutos rojos o púrpuras denominados ‘drupas’, cuyas semillas son los granos de café. Las especies *Coffea* se encontraron originalmente en África, Asia tropical y Oceanía. La historia indica que el café fue descubierto en Etiopía en el siglo X, y en los siglos posteriores se introdujeron plantaciones de café en otras regiones, como América del Sur y Asia templada (Martins et al., 2025).

A nivel económico, el café (*Coffea* spp.) es uno de los cultivos de mayor relevancia a nivel mundial, su producción y comercialización cumplen un papel fundamental en la economía global. Su cultivo abarca más de 10,2 millones de hectáreas en alrededor de ochenta países, es la principal fuente de trabajo para millones de familias en África, Asia y América Latina (Rojas-Chacón et al., 2024).

Según la Organización Internacional del Café en los años 2024 y 2025, la producción mundial de café alcanzó un estimado de 177,5 millones de sacos, un 5,2 % más que en la campaña cafetera 2023/2024 (International Coffee Organization, 2025).

Existen 124 especies de café en el género *Coffea*, sin embargo, el mercado del café está liderado solo por dos de estas especies: *Coffea arabica* L. (56%) y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (44%). Entre estas especies, *C. arabica* L. es la que mayor valor comercial posee gracias a sus características sensoriales como aroma y sabor (Monrroy et al., 2026).

***Coffea arabica* L.**

Especie originaria de las tierras altas de Etiopía en las selvas tropicales húmedas. Crece de forma natural en casi todas las zonas, en condiciones que van desde el clima semisabanero de las llanuras hasta las zonas de bosque montañoso húmedo, prosperando en altitudes que oscilan entre los 1300 y 2800 metros sobre el nivel del mar (Nasiro, 2024).

Figura 1.

Coffea arabica L. variedad *Typica* proveniente de la provincia de Loja



Nota. Granos de *Coffea arabica* L. Fotografía propia.

C. arabica L. representa más del 95% de la producción mundial de café, es una de las especies de mayor importancia comercial (Mannino et al., 2023). En Ecuador, el cultivo de café es una fuente importante de ingresos y divisas en varias provincias, su cultivo incluye las especies robusta y arábica, siendo esta última la especie con mayor porcentaje de plantaciones y mayor importancia económica, su cultivo se extiende por varias provincias del país, como Bolívar, Cotopaxi, Guayas, Imbabura, Loja, Los ríos, Pichincha, Santo Domingo y Sucumbíos (Mihai et al., 2024).

La provincia de Loja destaca como una de las provincias con mayor producción de *Coffea arabica* L. en Ecuador, ocupando el segundo lugar a nivel nacional con mayor superficie sembrada, su producción representa un impacto ambiental y socioeconómico en la región. En el aspecto económico, constituye una fuente importante de ingresos para sus productores y comerciantes, en lo social, involucra a diversas comunidades y grupos étnicos; y, desde la parte ambiental, su cultivo favorece a la conservación de flora y fauna del suelo (Gomez Aguilar, 2024).

Composición química de los granos de café

Los granos de café están compuestos por una variedad de compuestos bioactivos, como los ácidos clorogénicos, alcaloides, melanoidinas formadas en el tostado y compuestos liposolubles como tocoferoles y diterpenos (Aborziza et al., 2024). Como parte de los compuestos fenólicos destacan el ácido tánico, derivados del ácido quínico (ácidos clorogénicos), ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido *p*-cumárico, ácidos cinámicos, cinamaldehídos, ácido vainílico, ácido *p*-hidroxibenzoico, entre otros (Ali et al., 2022).

Ácidos Fenólicos

Los ácidos presentes en el café generalmente se dividen en: ácidos orgánicos y ácidos clorogénicos. En café tostado se ha identificado y cuantificado treinta y ocho ácidos orgánicos, siendo los ácidos cítricos, málicos y quínicos los más sobresalientes en el café verde. Respecto a los ácidos clorogénicos, son compuestos fenólicos que se producen de manera natural y se concentran en el grano del café a medida que ocurre la maduración del fruto. Se subdividen en subgrupos que incluyen a los ácidos cafeoilquínicos, los ácidos dicafeiloquínicos y los ácidos feruloilquínicos (Anh-Dao et al., 2024).

Flavonoides

Los flavonoides son compuestos que contienen principios activos con efectos beneficiosos para la salud, como la actividad antioxidante. En *C. arabica* L. se ha identificado la presencia de compuestos como la procianidina B2, epicatequina galato, vitexina, galocatequina, miricetina y catequina. Las características estructurales de estos compuestos les permite donar átomos de hidrógeno o electrones que, contribuyen a la eliminación de radicales (Ali et al., 2022).

Sin embargo, durante el proceso de tueste el contenido de flavonoides disminuye de acuerdo con el grado de tostado del grano; en tuestes ligeros y medios se evidencia un mayor contenido total de flavonoides que en granos de café sometidos a tuestes oscuros (Badr et al., 2018).

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante es la capacidad que tienen los compuestos para proteger los sistemas biológicos del estrés oxidativo. Los compuestos fenólicos, principalmente los ácidos fenólicos y los flavonoides, contribuyen a las propiedades antioxidantes ya que actúan como quelantes de metales, es decir, como compuestos donadores de hidrógeno capaces de eliminar radicales libres, a ellos se les atribuye la actividad antioxidante en el sistema biológico (Ali et al., 2022).

Además de la actividad antioxidante, el café destaca por su actividad antiinflamatoria y antiviral. Dicha actividad se atribuye a compuestos como la cafeína, la teofilina, la teobromina, el cafestol, el kahweol, los tocoferoles, la trigonelina, los ácidos clorogénicos y sus derivados (Akmal et al., 2022). Estos últimos poseen una fuerte actividad captadora de radicales, el ácido 5-O-cafeoilquínico es el antioxidante fenólico más abundante en el café, y como moduladores del estrés oxidativo destacan los ácidos feruloilquínico y dicafeoilquínico (Finta et al., 2026).

Efectos del procesamiento en el café

La calidad de los granos de café se ve influenciada por factores como la especie, el origen geográfico, el procesamiento postcosecha y de producción. Se ha demostrado que las etapas de procesamiento, específicamente la del tostado, puede llegar a incidir en la cantidad de químicos bioactivos presentes en los granos de café (Liu et al., 2022).

El proceso de tueste provoca un aumento en la acidez de los granos tostados de café causado por el aumento de los ácidos fórmico, acético, glicólico y láctico, que se formaron durante el tueste a partir de carbohidratos del café verde. Los ácidos cítrico y málico, por otro lado, tienden a degradarse en ácido succínico, fumárico, maleico y otros (Yeager et al., 2023).

Por otro lado, compuestos como la rutina, quercetina, kaempferol y la isorhamnetina disminuyen su contenido de acuerdo con el grado de tueste; en tuestes ligeros y medios existe mayor contenido total de estos flavonoides que en tuestes oscuros (Badr et al., 2018).

El tueste tiende a disminuir los azúcares, el agua y los ácidos clorogénicos presentes en los granos de café (Alnsour et al., 2022). Durante el tueste, el ácido 5-cafeoilquínico disminuye respecto al grano verde, y se producen isomerizaciones que favorecen el aumento de isómeros como el ácido 4-cafeoilquínico y el ácido 3-cafeoilquínico. En este sentido, el grado de tueste constituye un factor importante en la concentración de estos compuestos (Marín-García & Puerta-Quintero, 2008).

La mayor parte de ácidos clorogénicos se hidroliza, alrededor de un 5 al 8% de estos ácidos se transforman temporalmente en quinolactonas. El café tostado en grado medio contiene 0,5% de ácidos clorogénicos y 0,23% de 3-cafeoilquínica-1,5-lactona. Por otro lado, cuando el tueste del café es oscuro, los ácidos clorogénicos y las lactonas de los ácidos clorogénicos se transforman en compuestos como el catecol, guaiacol y pirogalol (Marín-García & Puerta-Quintero, 2008).

Asimismo, durante el proceso de tueste se generan ácidos fenólicos como el ácido cafeico y gálico, mientras que, una vez finalizado el proceso, aparecen otros compuestos como el ácido quínico, ácido shikímico y cafeico; en esta etapa el ácido quínico disminuye y las concentraciones de ácido shikímico y cafeico aumentan. Por su parte, otros compuestos como el ácido gálico, pirogalol y purpurogalina también son producto de este proceso térmico (Liao et al., 2022).

Además, se forman nuevos compuestos como las melanoidinas, formadas por la reacción de Maillard. Dichos compuestos se forman en alimentos que han sido procesados térmicamente; se ha demostrado que las melanoidinas de las infusiones de café son antioxidantes más fuertes que aquellas que se producen en otros alimentos que han recibido tratamiento térmico (Iriondo-DeHond et al., 2021). La formación de estos compuestos podría compensar la disminución de la capacidad antioxidante causada por la degradación de los ácidos clorogénicos (Liao et al., 2022).

Métodos de análisis

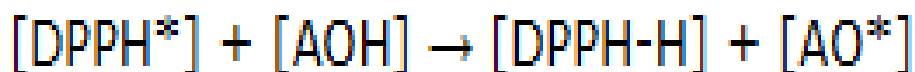
Ensayo del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)

El ensayo DPPH es una prueba basada en mediciones espectrofotométricas que permiten determinar la actividad antioxidante a través del uso del radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH). El objetivo del ensayo consiste en medir la capacidad de los antioxidantes para neutralizar dicho radical libre. Al tomar un átomo de hidrógeno proveniente de los antioxidantes, un electrón desapareado del átomo de nitrógeno en el DPPH se reduce a hidrazina (Kedare & Singh, 2011).

El radical DPPH posee un color violeta estable e intenso, cuando este se mezcla con alguna sustancia que tiene la capacidad de ceder un átomo de hidrógeno, entonces, el color cambia de violeta a amarillo pálido como resultado de la formación de la hidrazina (DPPH-H) (Gulcin & Alwasel, 2023). El color violeta intenso del radical se debe a la deslocalización de su electrón libre, y es lo que permite que absorba luz a una longitud de onda de 517 nm, y en solución de etanol alrededor de 520 nm (Kedare & Singh, 2011).

Figura 2.

Representación de la reacción ocurrida entre el DPPH y un antioxidante.



Nota. Tomado de Guija-Poma et al., (2015)

Ensayo Folin-Ciocalteu

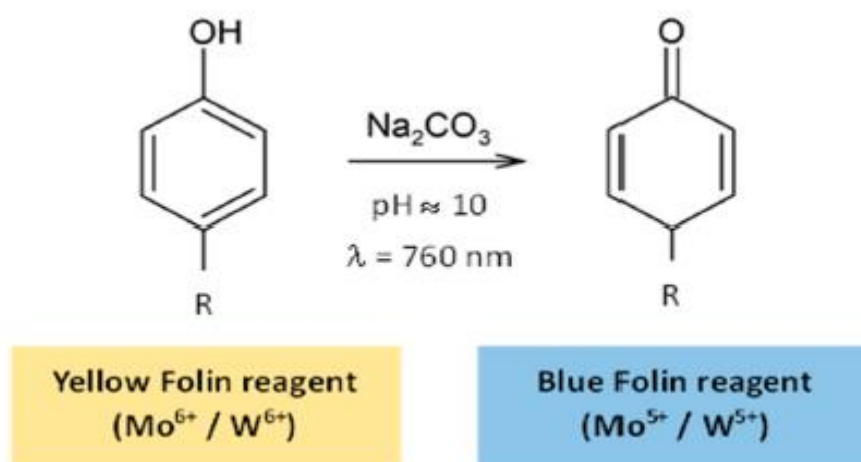
El ensayo Folin-Ciocalteu (F-C) es un método de referencia usado en la cuantificación de polifenoles totales en alimentos. El método se basa en una reacción redox de transferencia de electrones, donde el reactivo F-C actúa como oxidante y la especie antioxidante fenólica como donante de electrones. Dicha reacción entre polifenoles y el reactivo F-C se produce

únicamente en medio básico, para lo cual se añade una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3), ajustando el pH a aproximadamente 10 (Pérez et al., 2023).

Los ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico son componentes principales del reactivo Folin, cuando estos derivados aniónicos se mezclan con antioxidantes fenólicos, hay un cambio de color de amarillo a azul; se crean complejos azules que se detectan por espectroscopia a unos 760 nm. La intensidad del cambio es directamente proporcional a la actividad reductora de los compuestos fenólicos, dicha capacidad se mide generalmente en equivalentes de ácido gálico (EAG) (Pérez et al., 2023).

Figura 3.

Reacción redox del método de Folin-Ciocalteu



Nota. Tomado de Vicente-Zurdo et al., (2024)

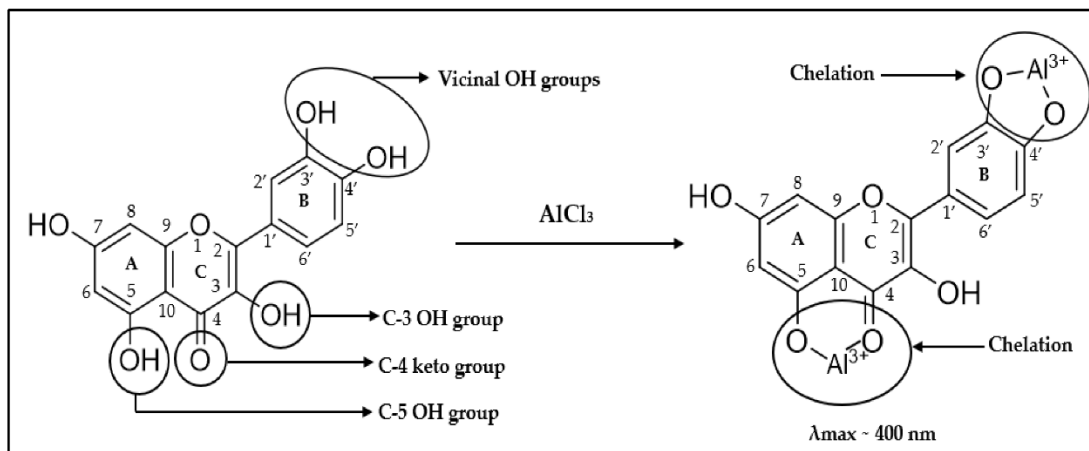
Ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio

El ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio es uno de los métodos más usados en la determinación del contenido total de flavonoides en extractos vegetales, el ensayo utiliza Al (III) como agente complejante. La presencia de los grupos oxo e hidroxilo en los flavonoides y su alta reactividad por los iones metálicos como el Al (III), permite la formación de quelatos de Al (III)-flavonoides (Shraim et al., 2021).

El máximo de absorbancia de los complejos ácido-lábiles formados por la unión del ion $\text{Al}(\text{III})$ y los grupos hidroxilo vecinos en el anillo de los flavonoides alcanza un máximo de alrededor de 400 nm. Existe otra versión del ensayo en la que se emplea soluciones adicionales como el nitrito de sodio que actúa como agente oxidante y nitrante de dioles vecinales aromáticos, y el hidróxido de sodio que permite crear condiciones alcalinas y mejoran la reacción de color. Esta combinación permite que la determinación del contenido de flavonoides sea mucho más precisa, en este caso, el nuevo máximo de absorbancia es de aproximadamente 500 nm (Sultana et al., 2024).

Figura 4.

Formaciones complejas de quelato de $\text{Al}(\text{III})$ -flavonoide



Nota. Tomado de (Sultana et al., 2024)

Capítulo III: Metodología

Enfoque de investigación

Este estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo. Según (Barroga et al., 2023) en esta investigación se plantea y prueba una hipótesis mediante razonamiento inductivo resultado de la recopilación, el análisis y síntesis de datos. Incluye otros tipos de investigación como la descriptiva, la cual, describe el estado de las variables para dar información sobre un fenómeno tal como ocurre sin interferencia del investigador.

El presente estudio emplea un enfoque cuantitativo, ya que se obtuvieron datos numéricos resultado de mediciones espectrofotométricas para caracterizar la concentración de compuestos fenólicos totales, flavonoides y carácter antioxidante en granos procesados de la especie *Coffea arabica* L.

Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación empleado fue de tipo descriptivo, ya que permitió determinar y caracterizar el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y potencial antioxidante presentes en granos de *Coffea arabica* L. procesados, provenientes de la provincia de Loja. Los resultados se compararon entre muestras clasificadas según su grado de tueste.

El diseño del estudio fue no experimental, debido a que se trabajó con granos de café procesados obtenidos comercialmente, sin influir en las condiciones de procesamiento de las muestras. Asimismo, la investigación fue de corte transversal, la recolección y el análisis de los datos se llevó a cabo en un solo momento.

Área de estudio

Se usaron muestras de café procesado provenientes de la provincia de Loja cantón Puyango, parroquia Alamor en la zona “El Naranjal”, específicamente de la finca “Don Flori” dedicados a la producción de la especie *Coffea arabica* L., variedad Typica.

Figura 5.

Ubicación geográfica de la zona de origen de las muestras en estudio en Ecuador, Loja, cantón Puyango, sector El Naranjal, finca “Don Flori”



Nota: Elaboración propia a partir de Google Earth (2026).

Obtención de muestras para estudio

Se obtuvieron muestras de granos de café procesados de la especie *Coffea arabica* L. variedad Typica, provenientes de la finca “Don Flori” ubicada en el cantón Puyango, provincia de Loja. Las muestras correspondían a diferentes grados de tueste; tueste claro, tueste medio, tueste oscuro, y fueron adquiridas en su presentación empacada de 350 gramos de grano entero.

Figura 6.

Muestras de granos de Coffea arabica L.

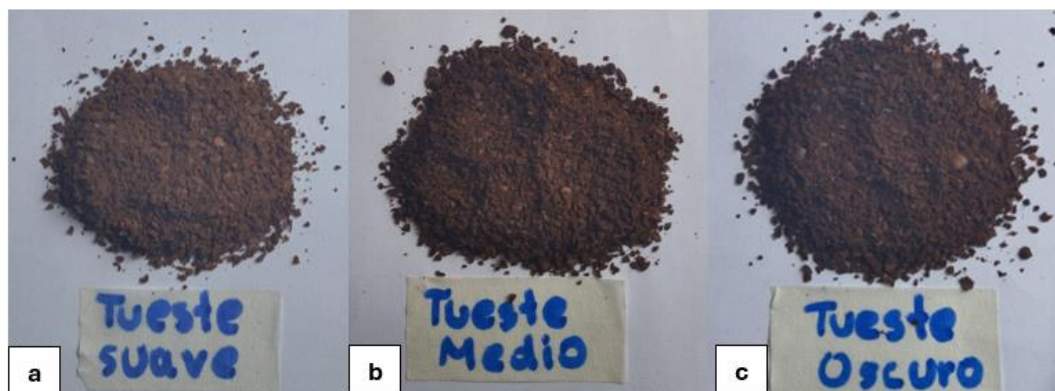


Nota. (a) granos de café tueste claro; (b) granos de café tueste medio; (c) granos de café tueste oscuro. Fotografía propia.

Posteriormente, se molieron cada una de las muestras de granos de café con ayuda de un molino eléctrico hasta obtener una granulometría intermedia que permitiera una extracción adecuada de los compuestos presentes en la matriz vegetal.

Figura 7.

Muestras de Coffea arabica L. molidas



Nota. (a) café tueste claro molido; (b) café tueste medio molido; (c) café tueste oscuro molido. Fotografía tomada en el laboratorio CICTE de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” por Cachumba Ingrid, 2026, Sangolquí, Ecuador.

Extracción de compuestos

El proceso de obtención de principios bioactivos se llevó a cabo mediante extracción sólido-líquido por maceración. De acuerdo con (Bouhzam et al., 2023) la extracción sólido-líquido es la técnica más usada, ya que no requiere equipo especializado. El uso de solventes polares como etanol, metanol o acetona se recomiendan en extracciones de polifenoles, una de las opciones más viables y ambientalmente sostenible para este tipo de procesos es el etanol, un solvente de baja toxicidad, con un punto de ebullición bajo y de fácil acceso.

El procedimiento experimental se realizó siguiendo el protocolo establecido en el laboratorio; se pesaron 5 gramos de muestra de café molido con ayuda de una balanza analítica, se transfirió la muestra a un tubo falcón de 50 mL y se añadieron 25 mL de etanol absoluto (96%), el tubo fue cubierto con papel aluminio para reducir la exposición a la luz. El tiempo de reposo fue de 72 horas en refrigeración. Transcurrido este tiempo se filtró el extracto con ayuda de papel filtro; el filtrado fue recolectado y almacenado en tubos nuevos para los análisis.

Este proceso se realizó de manera independiente para cada una de las muestras siguiendo las mismas condiciones experimentales; se realizó cuatro extracciones independientes por cada tratamiento (tueste claro, tueste medio, tueste oscuro).

Determinación de compuestos fenólicos totales

Ensayo Folin-Ciocalteu

Previo al desarrollo del ensayo, se diluyó cada uno de los extractos en una proporción 1:20 para garantizar que las absorbancias se encontraran dentro del rango lineal de la curva de calibración, permitiendo una interpolación confiable. La determinación de compuestos fenólicos totales presentes en las muestras se realizó a través del método Folin-Ciocalteu tomando como fundamento metodológico el procedimiento descrito por Wu, Gu, et al., (2022) con algunas variaciones. En un tubo falcón limpio se añadió en orden; 0.4 mL de extracto, 0.4 mL de reactivo de Folin (1 N) previamente preparado y 2 mL de agua destilada, se mezcló y dejó

reposar durante 5 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo, se añadió 0.4 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20% y 0.8 mL de agua destilada, se mezcló y dejó reposar durante 1 hora en oscuridad a temperatura ambiente. Este proceso se repitió para cada una de las muestras, se prepararon un total de 12 tubos de mezcla de reacción, cuatro por cada tratamiento.

Además, se preparó un blanco bajo las mismas condiciones experimentales que las reacciones con una variación en los 0.4 mL de muestra que se cambiaron por 0.4 mL de etanol al 96%. Concluido el tiempo de incubación se realizó las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro; a una longitud de onda de 765 nm contra el blanco. Se realizaron 4 lecturas por cada tubo para reducir variabilidad y obtener valores promedio representativos.

Adicional a esto, se construyó una curva de calibración para determinar el contenido de compuestos fenólicos totales presentes en las muestras, para esto se usó soluciones estándar de ácido gálico, posteriormente se corrigió aplicando el factor de dilución correspondiente y el volumen total del extracto (25 mL), y se expresó respecto a la masa inicial de muestra utilizada para la extracción (5 g). Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca ($\mu\text{mol GAE/g}$ de muestra seca).

Análisis de concentración de Flavonoides totales

Ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio

Previo al desarrollo del ensayo, se diluyó cada uno de los extractos en una proporción 1:5 para garantizar que las absorbancias se encontraran dentro del rango lineal de la curva de calibración, permitiendo una interpolación confiable. El análisis de la concentración total de flavonoides se realizó mediante el método de cloruro de aluminio, tomando como fundamento metodológico el método reportado por da Silva et al., (2021) con ciertas modificaciones. En un tubo falcón limpio se añadió de mayor a menor volumen: 2.3 mL de agua destilada, 1.5 mL de etanol al 96%, 1 mL de extracto, 0.1 mL de acetato de sodio (CH_3COONa) 1M y 0.1 mL de cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10%, se mezcló y dejó reposar por 40 minutos a temperatura

ambiente en oscuridad. El procedimiento se repitió para cada una de las muestras, se prepararon 12 tubos con la mezcla de reacción, cuatro por cada tratamiento.

Además, se preparó un blanco con los mismos volúmenes finales con una variación en el 1 mL de muestra que se cambió por 1 mL de etanol, además, no se añadió AlCl_3 , en su lugar se añadió 0.1 mL de etanol al 96%. Terminado el tiempo de incubación se realizó las lecturas a una longitud de onda de 435 nm contra el blanco. Se hicieron 4 lecturas por cada tubo para obtener valores promedio representativos y reducir variabilidad.

Se construyó una curva de calibración para determinar el contenido total de flavonoides presentes en las muestras, usando soluciones estándar de quercetina y posteriormente se corrigió aplicando el factor de dilución y el volumen total del extracto (25 mL), y se expresó respecto a la masa inicial de muestra utilizada para la extracción (5 g). Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Quercetina por gramo de muestra seca ($\mu\text{mol QE/g}$ de muestra seca).

Evaluación del carácter antioxidante

Ensayo del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH)

Previo a realizar el ensayo se diluyó cada uno de los extractos en una proporción 1:5 para evitar la saturación química del radical libre y que las absorbancias se encontraran dentro del rango lineal de la curva de calibración, permitiendo una interpolación confiable. El método fue adaptado de la metodología reportada por (Gligor et al., 2023) y ajustado a las condiciones del laboratorio. Se preparó una solución madre de DPPH (0.15 mM) con etanol al 96% como solvente. A continuación, se seleccionó una longitud de onda de 517 nm en el espectrofotómetro y se realizó la calibración de la solución; diluyéndola con etanol hasta alcanzar una absorbancia de 0.728. Una vez calibrada la solución de DPPH, en un tubo falcón limpio se añadió 2.9 mL de esta solución y 0.1 mL de extracto (previamente diluido), se homogenizó y dejó reposar durante 30 minutos a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad. Se preparó un total de 12 tubos de mezcla de reacción, cuatro por cada tratamiento.

Además, se preparó un blanco con 2.9 mL del DPPH calibrado y 0.1 mL de etanol. Concluido el tiempo de incubación se realizó las lecturas de absorbancia de cada muestra contra el blanco (bajo la misma longitud de onda). Se hicieron 4 lecturas por cada tubo para reducir variabilidad.

Los valores promedios de absorbancia obtenidos se interpolaron en una curva de calibración estándar de Trolox y se corrigieron aplicando el factor de dilución correspondiente y el volumen total del extracto (25 mL), y se expresó respecto a la masa inicial de muestra utilizada para la extracción (5 g). Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra seca ($\mu\text{mol TE/g}$ de muestra seca).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó como criterio de clasificación el grado de tueste de las muestras. Los datos obtenidos de las cuatro extracciones independientes de cada muestra se agruparon de acuerdo con el grado de tueste: tueste claro, tueste medio y tueste oscuro. De cada uno de los grupos, se determinó la media y desviación para reportar el contenido de compuestos fenólicos totales, concentración de flavonoides y capacidad antioxidante.

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de los datos, esta prueba se basa en medir que tan lineal es la relación entre los datos (Ghasemi & Zahediasl, 2012). Cuando se obtiene un valor p mayor a 0.05 no se rechaza la hipótesis de normalidad; se prueba que los datos vienen de una distribución normal. No obstante, cuando el valor p es menor a 0.05 se rechaza dicha hipótesis (RStudio, 2024).

Por otro lado, se usó también la prueba de Levene, la cual, permite comprobar si existe homogeneidad de varianzas entre dos o más grupos (Cardeña, 2024). Cuando el resultado de la prueba no arroja resultados significativos se cumple con el supuesto de homogeneidad, caso contrario, las varianzas son significativamente diferentes (MASH, s. f.)

Una vez validados estos supuestos, fue posible aplicar el análisis de varianza ANOVA. El análisis de varianza (ANOVA) permite determinar la existencia de diferencias

estadísticamente significativas entre medias usando diferencias de varianza entre grupos y dentro de ellos, considerando un nivel de significancia ($p < 0.05$) (T. K. Kim, 2017) .

Finalmente, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey tras encontrarse diferencias significativas entre los grupos. La prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey permite verificar que pares de grupos difieren entre sí después de haber hecho una prueba global significativa, considerando un nivel de significancia ($p < 0.05$) (H.-Y. Kim, 2015).

Los análisis de Shapiro-Wilk, Levene, ANOVA y Tukey se llevaron a cabo en el software Jamovi 2.7.37 y las gráficas se realizaron en Jamovi y Microsoft Excel.

Capítulo IV

Resultados

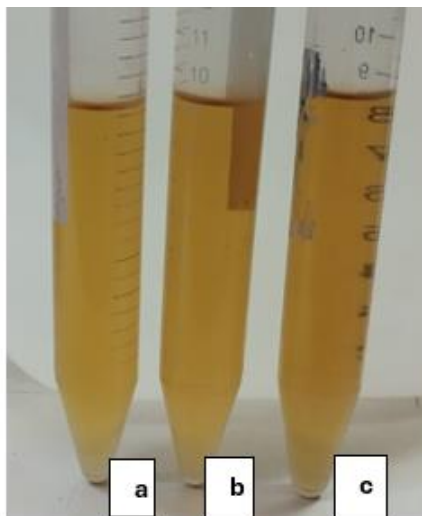
Obtención de extractos etanólicos

Después de 72 horas en refrigeración se filtró el extracto con ayuda de papel filtro Whatman, el extracto etanólico fue recolectado y almacenado en tubos nuevos para los análisis. Este proceso se realizó de manera independiente para cada una de las muestras; se realizó cuatro extracciones independientes para cada tratamiento: tueste claro, tueste medio y tueste oscuro.

Los extractos presentaron una coloración amarillenta con variaciones según el grado de tueste de las muestras; el café tueste claro presentó la coloración amarillenta más clara, seguido del tueste medio con un color amarillo intermedio y el tueste oscuro con una coloración amarilla más intensa respecto a los otros extractos.

Figura 8.

Extractos etanólicos de muestras de café tueste claro, tueste medio, tueste oscuro



Nota. (a) extracto etanólico café tueste claro; (b) extracto etanólico café tueste medio; (c) extracto etanólico café tueste oscuro. Fotografía tomada en el laboratorio CICTE de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” por Cachumba Ingrid, 2026, Sangolquí, Ecuador.

Evaluación del carácter antioxidante

Método DPPH

La evaluación de la actividad antioxidante se llevó a cabo a través del ensayo DPPH; se construyó una curva de calibración estándar de Trolox que permitiera cuantificar la actividad antioxidante de las muestras. Los valores experimentales se ajustaron a un modelo de regresión lineal y se obtuvo la ecuación (1) con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9902.

$$y = -2,5742x + 0,7342 \quad (1)$$

Los valores promedio de absorbancia de las muestras se interpolaron en la curva de calibración y los resultados se expresaron en $\mu\text{mol TE/g}$ de muestra. La Tabla 1 muestra los valores obtenidos del análisis de la actividad antioxidante determinada en muestras de *Coffea arabica* L. procesado bajo diferentes grados de tueste. Los resultados corresponden a las réplicas experimentales y se expresaron como media $\pm$ desviación estándar.

Tabla 1.

Respuestas experimentales obtenidas mediante el ensayo DPPH de la actividad antioxidante en granos de Coffea arabica L. procesados

Muestra	Media $\pm$ DE ($\mu\text{mol TE/g}$ muestra seca)
Tueste claro	12.181 $\pm$ 0.086 ^a
Tueste medio	10.774 $\pm$ 0.081 ^b
Tueste oscuro	9.484 $\pm$ 0.139 ^c

Nota. Resultados de la media y desviación estándar ($n=4$), donde n corresponde al número de tubos independientes evaluados por muestra. Las letras diferentes muestran diferencias significativas entre los grupos de muestras, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los valores de desviación estándar de cada muestra fueron bajos, lo que indicó una correcta reproducibilidad entre las mediciones y las réplicas experimentales. Además, los

resultados mostraron diferencias significativas entre los valores promedio de actividad antioxidante de cada muestra.

Las muestras de *Coffea arabica* L. correspondientes a tueste claro presentaron la mayor actividad antioxidante ($12.181 \pm 0.086 \mu\text{mol TE/g}$), seguido del tueste medio con una actividad intermedia ($10.774 \pm 0.081 \mu\text{mol TE/g}$) y el tueste oscuro ($9.484 \pm 0.139 \mu\text{mol TE/g}$) con la menor actividad antioxidante de los tres.

Análisis estadístico interpretativo

Validación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas

Tabla 2.

Análisis de supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad de varianzas (Levene) de las concentraciones finales de la actividad antioxidante

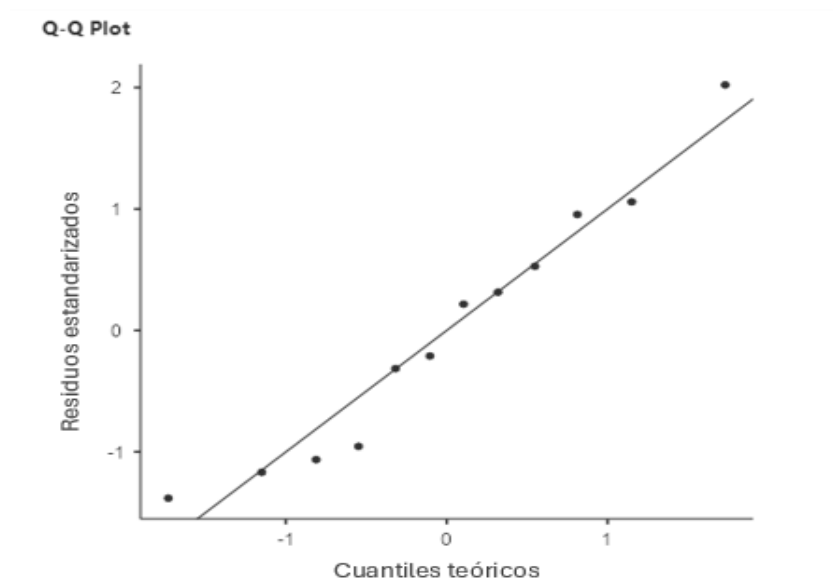
Prueba	F	<i>p</i>-valor
Shapiro-Wilk	0.954	0.693
Levene	1.05	0.390

Nota. F: estadístico de prueba; $p > 0.05$ mantiene una distribución normal.

Los resultados del análisis de la prueba Shapiro-Wilk mostraron que el modelo sigue una distribución normal ($p = 0.693$) y cumple con el supuesto de normalidad. Asimismo, los resultados del análisis de la prueba de Levene mostraron homogeneidad de varianzas ($p = 0.390$) cumpliendo con el supuesto de homocedasticidad.

Figura 9.

Gráfico Q-Q Plot para el análisis de normalidad de los datos de la actividad antioxidante



Nota. Los datos de las concentraciones finales de la actividad antioxidante de las muestras analizadas siguen una distribución normal.

Como ambos supuestos se cumplieron ($p > 0.05$), se usó la prueba ANOVA para verificar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las muestras.

Análisis de varianza ANOVA

Tabla 3.

Análisis de varianza (ANOVA) de los valores finales obtenidos de la actividad antioxidante (DPPH)

Fuente de variación	gl	F	<i>p</i> -valor
Grado de tueste	2	653	<0.001
Residuos	9		

Nota. gl: grados de libertad; F: estadístico de prueba; *p*-valor: nivel de significancia,

$p < 0.05$ indica diferencias significativas entre las medias.

Los resultados del Análisis de varianza ANOVA mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras de *Coffea arabica* L. procesado ($p < 0.001$), por lo tanto, se procedió con la prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey, para identificar qué grupos eran diferentes.

Prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey

Tabla 4.

Comparaciones múltiples de Tukey para la actividad antioxidante (DPPH) según el grado de tueste

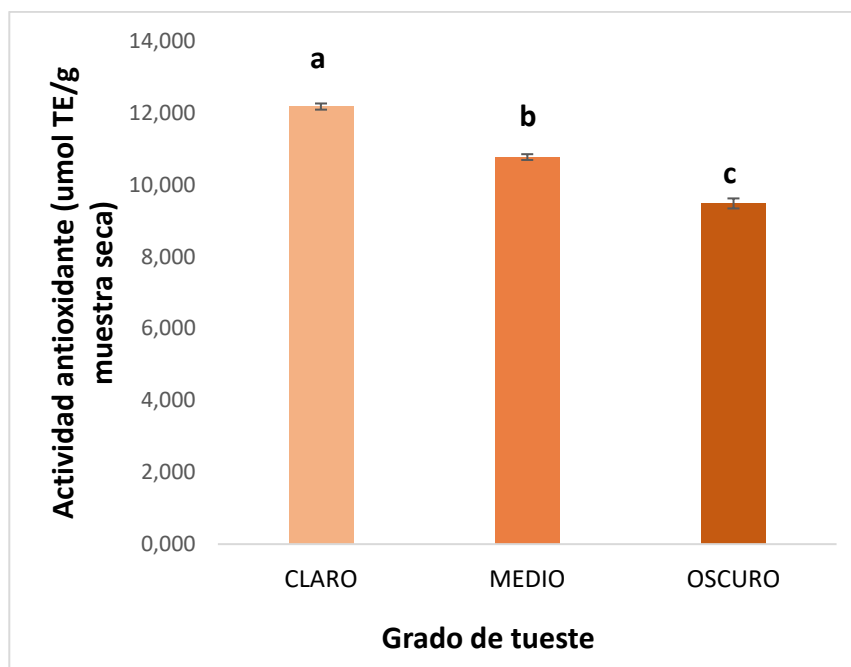
Comparación	Diferencia de medias	<i>p</i>-valor
Claro - Medio	1.41	<0.001
Claro - Oscuro	2.70	<0.001
Medio - Oscuro	1.29	<0.001

Nota. $p < 0.05$ indica diferencias significativas entre todos los grados de tueste.

Las comparaciones múltiples de Tukey mostraron diferencias estadísticamente significativas entre todos los grados de tueste evaluados ($p < 0,001$). El café de tueste claro y oscuro (2,70) presentaron la mayor diferencia entre sí, seguida de la comparación entre claro y medio (1,41) y medio y oscuro (1,29).

Figura 10.

Comparación de la actividad antioxidante (DPPH) entre las muestras de Coffea arabica L. procesado



Nota. Las barras corresponden a la media $\pm$ desviación estándar (n=4). Las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas, determinadas a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La prueba de Tukey evidenció la existencia de diferencias significativas de la actividad antioxidante entre los grupos evaluados ($p < 0.001$). En la Figura 10 se observa que, las muestras correspondientes al tueste claro presentaron la mayor actividad antioxidante, seguido del tueste medio, y tueste claro con la actividad más baja de los tres. Dichas diferencias se representaron por las letras a, b y c.

Análisis de concentración de Flavonoides totales

Ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio

El análisis del contenido de flavonoides totales se llevó a cabo a través del ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio, para esto se construyó una curva de calibración estándar de Quercetina que se ajustó de forma lineal obteniéndose la ecuación (2) con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9903.

$$y = 9,1963x + 0,0369 \quad (2)$$

Los valores promedio de absorbancia de las muestras se interpolaron en la curva de calibración para obtener la concentración de flavonoides totales. Los resultados mostrados en la Tabla 5 corresponden a las réplicas experimentales y se expresan como media $\pm$ desviación estándar ($\mu\text{mol QE/g}$ de muestra seca).

Tabla 5.

Concentración de Flavonoides totales determinada mediante el ensayo colorimétrico con cloruro de aluminio en granos de Coffea arabica L. procesados

Muestra	Media $\pm$ DE ($\mu\text{mol QE/g}$ muestra seca)
Tueste claro	5.616 ± 0.052^a
Tueste medio	4.815 ± 0.026^b
Tueste oscuro	4.116 ± 0.059^c

Nota. Valores de la media $\pm$ desviación estándar ($n=4$), donde n corresponde al número de tubos independientes evaluados por muestra. Las letras (a, b, c) indican diferencias significativas entre las muestras, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Se observó diferencias significativas entre los valores promedio de la concentración de flavonoides de cada muestra. Las muestras correspondientes a tueste claro dieron como resultado una concentración de flavonoides mayor ($5.616 \pm 0.052 \mu\text{mol QE/g}$), seguido del

tueste medio con un valor intermedio ($4.815 \pm 0.026 \mu\text{mol QE/g}$), mientras que el tueste oscuro presentó la menor concentración de los tres grupos ($4.116 \pm 0.059 \mu\text{mol QE/g}$).

Análisis estadístico interpretativo

Validación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas

Tabla 6.

Evaluación de supuestos estadísticos (normalidad) y (homocedasticidad de varianzas) aplicadas a las concentraciones finales de Flavonoides totales

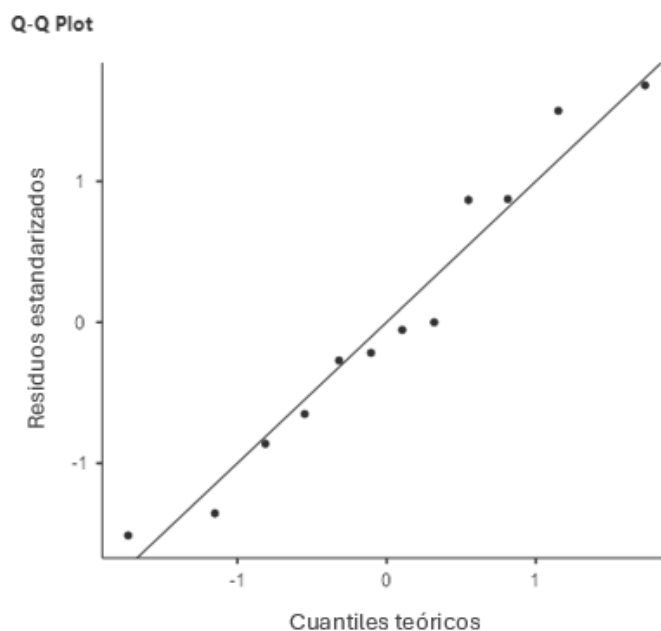
Prueba	F	<i>p-valor</i>
Shapiro-Wilk	0.949	0.627
Levene	1.83	0.215

Nota. F: estadístico de prueba; $p > 0.05$ mantiene una distribución normal.

Los resultados evidenciaron que el modelo sigue una distribución normal ($p = 0.627$) y cumple con el supuesto de normalidad según la prueba Shapiro-Wilk. Asimismo, los datos presentaron homogeneidad de varianzas ($p = 0.215$) y cumplieron con el supuesto de homocedasticidad.

Figura 11.

Diagrama Q-Q Plot para evaluar la distribución normal de los datos de la concentración de Flavonoides totales



Nota. La gráfica muestra una distribución normal de los datos del contenido de flavonoides totales.

Como ambos supuestos se cumplieron ($p > 0.05$), se usó la prueba ANOVA para verificar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las muestras.

Análisis de varianza ANOVA

Tabla 7.

Análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones finales de Flavonoides totales obtenidas

Fuente de variación	gl	F	p-valor
Grado de tueste	2	982	< 0.001
Residuos	9		

Nota. Valor $p < 0.05$ indica diferencias estadísticamente significativas entre las medias.

Los resultados del análisis ANOVA mostraron diferencias significativas entre las muestras analizadas ($p < 0.001$), por lo tanto, se procedió con la prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey, para identificar qué grupos son diferentes.

Prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey

Tabla 8.

Comparaciones múltiples de Tukey para el contenido de Flavonoides totales según el grado de tueste

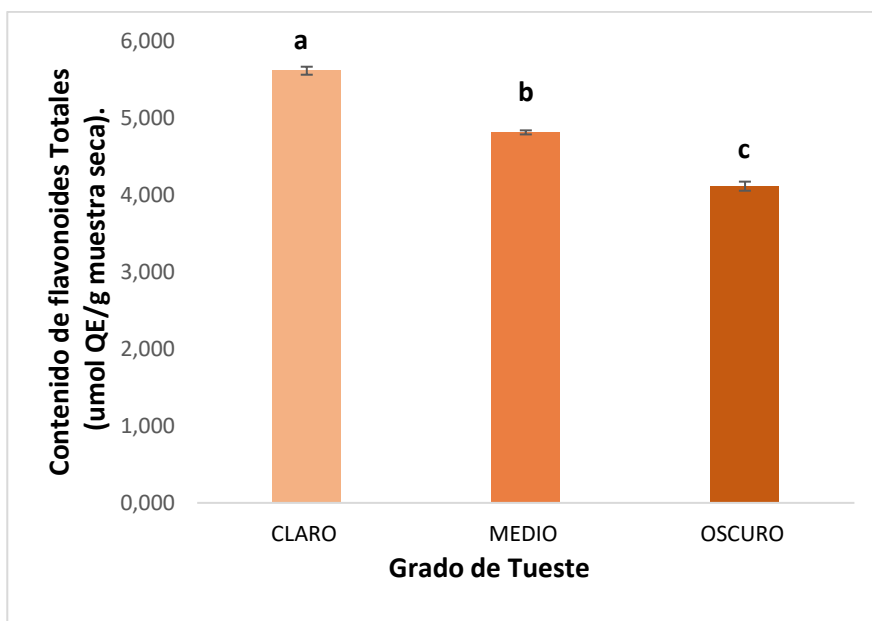
Comparación	Diferencia de medias	<i>p-valor</i>
Claro - Medio	0.801	<0.001
Claro - Oscuro	1.501	<0.001
Medio - Oscuro	0.699	<0.001

Nota. $p < 0.05$ indica diferencias significativas entre todos los grados de tueste.

Las comparaciones múltiples de Tukey mostraron diferencias estadísticamente significativas entre todos los grados de tueste evaluados ($p < 0.001$). El café de tueste claro y oscuro (1.501) presentaron la mayor diferencia entre sí, seguida de la comparación entre claro y medio (0.801) y medio y oscuro (0.699).

Figura 12.

Comparación de la concentración de Flavonoides totales entre las muestras de Coffea arabica L. procesado



Nota. Las barras representan la media $\pm$ desviación estándar ($n = 4$). Las letras (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey evidencio diferencias significativas entre todas las muestras ($p < 0.001$). La Figura 12 muestra un comportamiento decreciente en el contenido de flavonoides totales; muestras de tueste claro presentaron una mayor concentración de flavonoides, seguido del tueste medio con un contenido de flavonoides intermedio, y una menor concentración en el tueste oscuro.

Análisis de concentración de compuestos Fenólicos totales

Ensayo colorimétrico Folin-Ciocalteu

El análisis del contenido de compuestos fenólicos totales se realizó mediante el ensayo Folin-Ciocalteu. Se usó una curva de calibración que fue construida a partir de estándares de

Ácido Gálico y, mediante el método de regresión lineal se obtuvo la ecuación de la recta (3) y el coeficiente de determinación (R^2) equivalente a 0,9942.

$$y = 1,2488x + 0,0041 \quad (3)$$

Una vez obtenida la ecuación, los valores promedio de absorbancia para cada una de las muestras se interpolaron en el modelo para determinar sus concentraciones. Los resultados corresponden a las réplicas experimentales y se expresaron como media $\pm$ desviación estándar ($\mu\text{mol GAE/g}$ de muestra seca). En la Tabla 9 se presentan los valores obtenidos tras el análisis del contenido de compuestos fenólicos totales de cada una de las muestras de *Coffea arabica* L. procesado.

Tabla 9.

Concentración de compuestos Fenólicos totales determinada mediante el ensayo colorimétrico Folin-Ciocalteu en granos de Coffea arabica L. procesados

Muestra	Media $\pm$ DE ($\mu\text{mol GAE/g}$ muestra seca)
Tueste claro	175.756 $\pm$ 1.608 ^a
Tueste medio	148.809 $\pm$ 1.406 ^b
Tueste oscuro	122.097 $\pm$ 0.980 ^c

Nota. Valores de la media $\pm$ desviación estándar ($n=4$), donde n corresponde al número de tubos independientes evaluados por muestra. Las letras distintas indican diferencias significativas encontradas entre las muestras, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El análisis evidenció diferencias significativas entre los grupos de las muestras analizadas. La mayor concentración de compuestos fenólicos totales se encontró en las muestras pertenecientes al tueste claro ($175.756 \pm 1.608 \mu\text{mol GAE/g}$), seguido del tueste medio ($148.809 \pm 1.406 \mu\text{mol GAE/g}$), mientras que, el menor valor se registró en las muestras de tueste oscuro ($122.097 \pm 0.980 \mu\text{mol GAE/g}$).

Análisis estadístico interpretativo

Validación de supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas

Tabla 10.

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad de varianzas (Levene) aplicadas a las concentraciones finales de compuestos Fenólicos totales

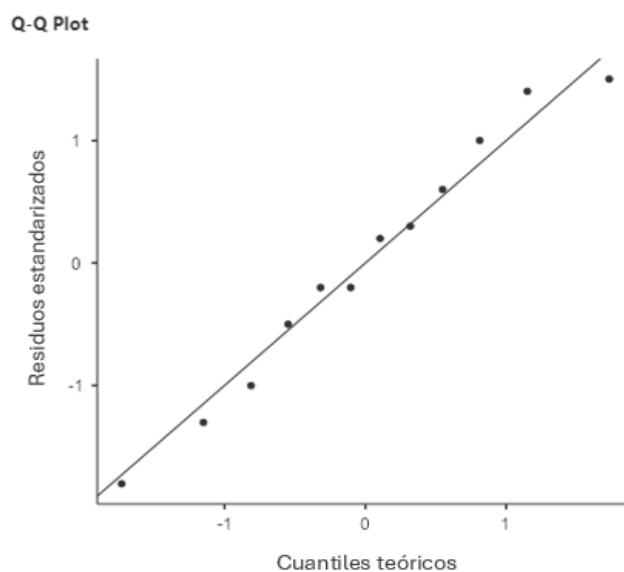
Prueba	F	<i>p</i> -valor
Shapiro-Wilk	0.970	0.914
Levene	0.476	0.636

Nota. F: estadístico de prueba; $p > 0.05$ mantiene una distribución normal.

Los resultados mostraron que el modelo sigue una distribución normal y cumple con el supuesto de normalidad ($p = 0.914$) según la prueba Shapiro-Wilk. Además, la prueba de Levene evidenció que los datos presentan homogeneidad de varianzas ($p = 0.636$) y cumplen con el supuesto de homocedasticidad.

Figura 13.

Gráfico Q-Q Plot para el análisis de normalidad de los datos de la concentración de compuestos Fenólicos totales



Nota. El gráfico indica que los datos analizados siguen una distribución normal

Como ambos supuestos se cumplieron ($p > 0.05$), se usó la prueba ANOVA para verificar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las muestras.

Análisis de varianza ANOVA

Tabla 11.

Análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones cuantificadas de compuestos Fenólicos totales

Fuente de variación	gl	F	p-valor
Grado de tueste	2	982	< 0.001
Residuos	9		

Nota. gl: grados de libertad; F: estadístico de prueba; $p < 0.05$ indica diferencias estadísticamente significativas entre las medias.

El análisis ANOVA mostró diferencias significativas entre los grupos analizados ($p < 0.001$), razón por la cual se procedió con la prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey, para identificar qué grupos son diferentes.

Prueba de comparaciones múltiples Post-Hoc de Tukey

Tabla 12.

Comparaciones múltiples de Tukey para el contenido de compuestos Fenólicos totales según el grado de tueste

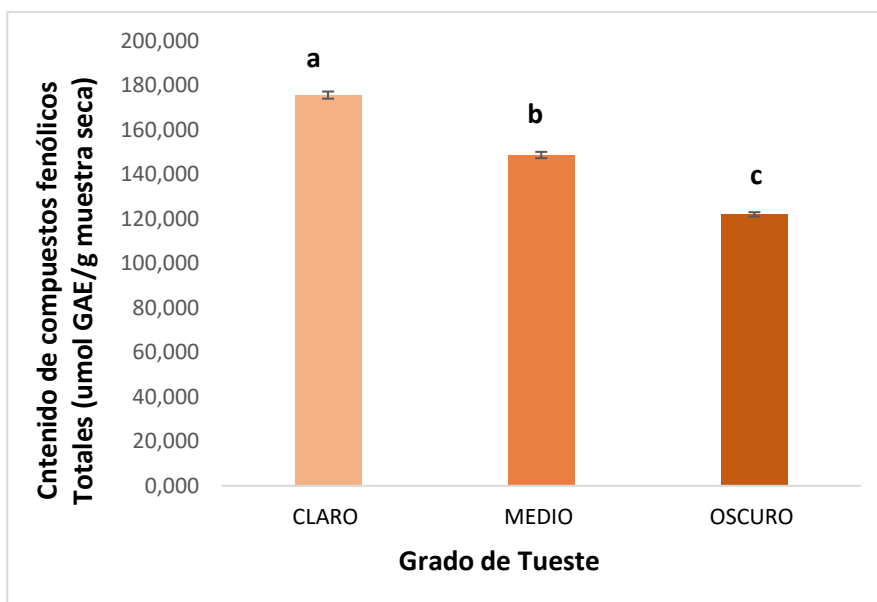
Comparación	Diferencia de medias	<i>p-valor</i>
Claro - Medio	26.9	<0.001
Claro - Oscuro	53.7	<0.001
Medio - Oscuro	26.7	<0.001

Nota. $p < 0.05$ indica diferencias significativas entre todos los grados de tueste.

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey evidenció diferencias estadísticamente significativas entre todos los grados de tueste analizados ($p < 0.001$). El café de tueste claro y oscuro (53.7) presentaron la mayor diferencia entre sí, seguida de la comparación entre claro y medio (26.9) y medio y oscuro (26.7).

Figura 14.

Comparación de la concentración de compuestos Fenólicos totales entre las muestras de Coffea arabica L. procesado



Nota. Las barras representan la media $\pm$ desviación estándar ($n = 4$). Las letras indican diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La Figura 14 muestra una tendencia decreciente en la concentración de compuestos fenólicos totales de las muestras de café procesado, las muestras correspondientes al tueste claro presentaron una mayor concentración de flavonoides, seguido del tueste medio con un contenido de compuestos fenólicos intermedio, y una menor concentración en el tueste oscuro. Estas diferencias estadísticamente significativas se verificaron a través de la prueba Tukey.

Análisis y discusión de los resultados

El café es uno de los productos más comercializados a nivel mundial y de suma importancia en la economía de muchos países que se dedican a su producción y comercialización. La especie *Coffea arabica* L. es una de las especies más importantes a nivel

económico ya que lidera el mercado global mundial y es altamente apreciada por los consumidores gracias al perfil de sabor de sus granos (Mihai et al., 2024).

La literatura científica asocia el consumo moderado de café a un menor riesgo de desarrollar enfermedades como la aterosclerosis, la diabetes mellitus tipo 2 y la disfunción endotelial, además de tener un efecto protector contra el riesgo de desarrollar fibrosis hepática. Estos beneficios están asociados a las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias de los compuestos bioactivos presentes en los granos de café (Kwapien et al., 2025).

No obstante, previo a su consumo, los granos de café son sometidos a diversos procesos de transformación postcosecha, estos constan de varias etapas de procesamiento que incluyen el tueste, los métodos de preparación, entre otros. La literatura menciona que, dichos procesos modifican el perfil químico del café y aumenta su complejidad, provocando transformaciones en el contenido de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, flavonoides y lípidos (Farag et al., 2022).

La presente investigación evaluó el potencial antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides totales en granos de *Coffea arabica* L. procesados provenientes de la provincia de Loja, clasificadas según el grado de tueste; claro, medio y oscuro. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre las muestras; en el carácter antioxidante analizado mediante el ensayo de la actividad antioxidante por DPPH, la concentración de flavonoides totales evaluada mediante el método colorimétrico del cloruro de aluminio ($AlCl_3$) y el contenido de compuestos fenólicos totales determinado a través del método colorimétrico de Folin-Ciocalteu.

A fin de garantizar la solidez estadística de estas diferencias se empleó las pruebas de Shapiro-Wilk y Leven para verificar que existiera una distribución normal y homogeneidad de varianzas en los datos (Tabla 2; Tabla 6; Tabla 10). Asimismo, se usó diagramas Q-Q Plot que, evidenciaron que los datos se ajustaban a una distribución normal, siendo esto coherente con lo obtenido en la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$) (Figura 9; Figura 11; Figura 13). El

cumplimiento de los supuestos en estas pruebas, permitió tener una base firme para la posterior estimación de parámetros, asegurando un margen de error confiable (Panchi & Panchi, 2025).

Una vez verificados el cumplimiento de ambos supuestos, se hizo el análisis ANOVA (Tabla 3; Tabla 7; Tabla 11) y de comparaciones múltiples Post- Hoc de Tukey (Tabla 4; Tabla 8; Tabla 12). Ambos análisis evidenciaron la existencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) de la actividad antioxidante, la concentración de compuestos fenólicos totales y el contenido de flavonoide totales, entre los grupos evaluados.

La actividad antioxidante evaluada mediante el ensayo DPPH, reveló que las muestras de *Coffea arabica* L. procesado clasificadas dentro del grado de tueste claro presentaron la mayor actividad antioxidante de las tres muestras ($12.181 \pm 0.086 \mu\text{mol TE/g}$), seguido de las muestras correspondientes al grado de tueste medio ($10.774 \pm 0.081 \mu\text{mol TE/g}$) y el tueste oscuro ($9.484 \pm 0.139 \mu\text{mol TE/g}$) con la menor actividad antioxidante (Tabla 1; Figura 10).

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Bobková et al., (2020) quienes evaluaron la actividad antioxidante en granos molidos de *Coffea arabica* L. tueste ligero, medio y oscuro, sus resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) entre los grupos evaluados, en cafés con tuestes ligeros la capacidad antioxidante total alcanzo los valores más altos respecto a los tuestes medio y oscuro.

Los compuestos que podrían estar contribuyendo a la actividad antioxidante de los granos de café son las melanoidinas, compuestos de alto peso molecular que se producen tras el proceso de tostado como resultado de la reacción de Maillard (Castaldo et al., 2021). Además, se sabe que durante el tueste el ácido 5-cafeoilquínico da lugar a sus isómeros; el ácido 4-cafeoilquínico y el ácido 3-cafeoilquínico (Marín-García & Puerta-Quintero, 2008).

Asimismo, el método colorimétrico con cloruro de aluminio permitió determinar una disminución progresiva en la concentración de flavonoides totales, los resultados mostraron que las muestras correspondientes al grado de tueste claro presentaron el mayor contenido de

flavonoides totales, exhibiendo un valor de $(5.616 \pm 0.052 \mu\text{mol QE/g})$, seguidas por los valores intermedios $(4.815 \pm 0.026 \mu\text{mol QE/g})$ de las muestras de tueste medio, y una menor concentración en las muestras de tueste oscuro con un valor de $(4.116 \pm 0.059 \mu\text{mol QE/g})$ (Tabla 5; Figura 12).

Estos resultados siguen la misma tendencia descrita por Jung et al., (2021) quienes estudiaron el efecto del grado de tueste en las propiedades antioxidantes de *Coffea arabica* L., los resultados mostraron que el contenido de flavonoides totales fue más alto en el tueste medio claro y disminuyó de manera significativa a medida que el nivel de tueste aumentaba. La bibliografía indica que parte de los flavonoides que se conservan en menor cantidad después del tueste, son los derivados de la quercetina y el ácido ascórbico (Badr et al., 2018).

Finalmente, la concentración de compuestos fenólicos totales se evaluó a través del método colorimétrico de Folin-Ciocalteu. Los resultados mostraron que el contenido de estos compuestos disminuía en aquellas muestras con grados de tueste más fuertes. El mayor contenido de compuestos fenólicos totales se encontró en las muestras correspondientes a tueste claro $(175.756 \pm 1.608 \mu\text{mol GAE/g})$, seguido del tueste medio $(148.809 \pm 1.406 \mu\text{mol GAE/g})$, y, por último, el tueste oscuro que registró el menor contenido de estos compuestos $(122.097 \pm 0.980 \mu\text{mol GAE/g})$ (Tabla 9; Figura 14).

Este comportamiento según Rusinek et al., (2024) podría estar asociado con el nivel de tueste de los granos de café, en su estudio analizan los tres grados de tueste y su efecto en el contenido de compuestos bioactivos en muestras de *Coffea arabica* L. y demostraron que los compuestos fenólicos disminuyen de forma escalonada; primero el tueste claro, seguido del tueste medio y finalmente el tueste oscuro, que conserva la menor cantidad de estos compuestos.

La bibliografía explica que en tuestes ligeros y medios, la mayor parte de ácidos clorogénicos se hidrolizan y transforman temporalmente en quinolactonas como la 3-

cafeoilquínica-1,5-lactona, y en tuestes oscuros, se forman compuestos como el catecol, guaiacol y pirogalol (Marín-García & Puerta-Quintero, 2008).

Además, durante el proceso de tueste se generan compuestos como el ácido cafeico y el ácido gálico, generados por la hidrólisis térmica del enlace éster del ácido clorogénico. Y al finalizar el proceso de tueste aparecen compuestos como el ácido shikímico, el ácido cafeico y la purpurogalina (Liao et al., 2022).

Los resultados de la presente investigación mostraron que los granos de *Coffea arabica* L. procesados mantienen, aunque en diferentes concentraciones, la presencia de actividad antioxidante, compuestos fenólicos y flavonoides totales. Además, los datos revelaron que las muestras correspondientes al tueste claro muestran las mayores concentraciones de compuestos fenólicos, flavonoides totales y actividad antioxidante que las otras muestras correspondientes a los tuestes medio y oscuro.

Estos hallazgos son consistentes con varios estudios como el de Nuñez-Alejos et al., (2026) donde demuestran que las diferentes etapas de procesamiento poscosecha del café, influye en la composición química y la función del café. Los mismos investigadores demostraron que, el grado de tueste modula significativamente la composición de compuestos fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante de los granos de *Coffea arabica* L. Siendo el tueste oscuro el tratamiento con mayor impacto negativo sobre el contenido de compuestos bioactivos.

Sin embargo, estas diferencias pueden deberse también a otros factores como el origen geográfico, el proceso de despulpado, la fermentación y el secado natural del café. Por esa razón, los autores proponen el desarrollo de métodos de procesamiento que permitan mantener los atributos sensoriales del café pero también potenciar sus propiedades biológicas y químicas (Tieghi et al., 2024).

En el contexto de Ecuador, existen varias investigaciones que analizan el perfil fitoquímico de los granos de *Coffea arabica* L. producidos en la provincia de Loja, en diferentes

matrices del café, estos estudios recalcan la importancia de identificar la composición y presencia de compuestos bioactivos en productos como el café (Navarrete et al., 2017; Vicente Quille, 2019).

En tal sentido, la presente investigación aporta información que complementa la ya disponible y contribuye a la generación de conocimiento sobre el carácter antioxidante y el contenido fenólico de compuestos fenólicos de *Coffea arabica* L. producido en esta provincia. Finalmente, los resultados obtenidos sirven como base para futuros estudios que profundicen a través de técnicas más específicas en los compuestos específicos que se encuentran presentes en esta especie y como pueden afectar otros factores en la composición de compuestos bioactivos.

Capítulo V

Conclusiones

Se determinó la concentración de compuestos fenólicos totales mediante el método Folin Ciocalteu, en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, los resultados indicaron que las muestras correspondientes al grado de tueste claro presentaron la mayor concentración de compuestos fenólicos, seguido de las muestras correspondientes al tueste medio, y por último las muestras con grado de tueste oscuro que presentaron el menor contenido de compuestos fenólicos totales de las tres muestras analizadas.

Se analizó la concentración de flavonoides, con el método Cloruro de Aluminio en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, los datos revelaron que la concentración de flavonoides totales fue mayor en las muestras correspondientes al grado de tueste claro, intermedia en las muestras de tueste medio, y menor en las muestras correspondientes al tueste oscuro.

Se evaluó el carácter antioxidante en granos procesados de la variedad Arábigo en la Provincia de Loja, a través del método DPPH y los resultados evidenciaron un orden decreciente de la actividad antioxidante; muestras correspondientes al grado de tueste claro obtuvieron los valores más altos, las muestras de tueste medio valores intermedios y las muestras correspondientes al tueste oscuro presentaron los valores más bajos.

Estos resultados demuestran que los granos procesados de la variedad Arábigo provenientes de la provincia de Loja presentan un potencial funcional incluso después de su procesamiento.

Recomendaciones

Se recomienda usar técnicas más específicas que permitan identificar qué compuestos individuales se encuentran presentes en granos de *Coffea arabica* L. procesados. Se podrían usar técnicas cromatográficas como HPLC o LC-MS/MS.

Para estudios futuros se recomienda añadir más muestras de *Coffea arabica* L. procesado que abarquen otras zonas de Loja y otros proveedores. Además, se podría evaluar el contenido de compuestos bioactivos en muestras con otros factores asociados al procesamiento.

Se recomienda hacer un análisis de correlación como Pearson, que permita identificar si la actividad antioxidante de las muestras de *Coffea arabica* L. procesado está relacionada con la presencia de compuestos fenólicos.

Referencias

- Aborziza, M., Amalia, R., Zuhrotun, A., Ikram, N. K. K., Novitasari, D., & Muchtaridi, M. (2024). Coffee Bean and Its Chemical Constituent Caffeine and Chlorogenic Acid as Promising Chemoprevention Agents: Updated Biological Studies against Cancer Cells. *Molecules*, 29(14), 3302. <https://doi.org/10.3390/molecules29143302>
- Akmal, T., Budiman, A., Holik, H. A. (2022). Formulation of Compressed Lozenges from Decaffeinated Arabica Green Coffee (*Coffea arabica* L.) Bean Extract as Immune Booster. *International Journal of Current Science Research and Review*, 05(12). <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V5-i12-51>
- Ali, A., Zahid, H. F., Cottrell, J. J., & Dunshea, F. R. (2022). A Comparative Study for Nutritional and Phytochemical Profiling of *Coffea arabica* (*C. arabica*) from Different Origins and Their Antioxidant Potential and Molecular Docking. <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/16/5126>
- 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>
- Anh-Dao, L.-T., Minh-Huy, D., Bui-Phuc, T., Nhut-Truong, N., Tu-Chi, T., Thi-Hoa, L., Diem-My, H.-L., Thanh-Nho, N., & Cong-Hau, N. (2024). *Determinación de cafeína, ácido clorogénico, contenido total de fenoles y capacidad antioxidante en cafés arábica y robusta de Vietnam: Analytical Letters: Vol. 57, n.º 17.* <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00032719.2024.2304126>
- Atavillos Dominguez, C., Reátegui, D., & Ordoñez Gómez, E. S. (2020). Fenoles totales, actividad antioxidante y evaluación sensorial del café tostado. *Agroindustrial Science*, 10(3 (septiembre-diciembre)), 241-248.

- Badr, N., Arzoo, S., Masri, S. A., & Obead, M. B. (2018). *STUDY ON THE FLAVONOIDS, TOCOPHEROL AND ASCORBIC ACID CONTENT IN RAW AND ROASTED ARABICA COFFEE BEANS*. <https://www.semanticscholar.org/paper/STUDY-ON-THE-FLAVONOIDS%2C-TOCOPHEROL-AND-ASCORBIC-IN-Badr-Arzoo/23e7762894b21ce32ae79200ff2d2022838217c0>
- Barroga, E., Matanguihan, G. J., Furuta, A., Arima, M., Tsuchiya, S., Kawahara, C., Takamiya, Y., & Izumi, M. (2023). Conducting and Writing Quantitative and Qualitative Research. *Journal of Korean Medical Science*, 38(37), e291. <https://doi.org/10.3346/jkms.2023.38.e291>
- Basantes-Vizcaíno, T. F., & Orihuela, J. C. A. (2024). Caracterización de fincas productoras de café (*Coffea arabica* L.) orgánico y convencional en la zona de Intag, Ecuador. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 11(3), 84-97. <https://doi.org/10.53287/iisy1664yp50t>
- Bobková, A., Hudáček, M., Jakabová, S., Belej, L., 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>
- Bouhzam, I., Cantero, R., Margallo, M., Aldaco, R., Bala, A., Fullana-i-Palmer, P., & Puig, R. (2023). Extraction of Bioactive Compounds from Spent Coffee Grounds Using Ethanol and Acetone Aqueous Solutions. *Foods*, 12(24), 4400. <https://doi.org/10.3390/foods12244400>
- Cardeña, C. (2024). (PDF) *Prueba de Levene para verificar la homocedasticidad entre grupos en cuasiexperimentos en ciencias sociales*. https://www.researchgate.net/publication/386273554_Levene's_Test_for_Verifying_Homocedasticity_Between_Groups_in_Quasi-Experiments_in_Social_Sciences

- Castaldo, L., Toriello, M., Sessa, R., Izzo, L., Lombardi, S., Narváez, A., Ritieni, A., & Grosso, M. (2021). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Coffee Brew Evaluated after Simulated Gastrointestinal Digestion. *Nutrients*, 13(12), 4368.
<https://doi.org/10.3390/nu13124368>
- Chaves-Ulate, E. C., & Esquivel-Rodríguez, P. (2019). Ácidos clorogénicos presentes en el café: Capacidad antimicrobiana y antioxidante¹. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 299-311.
- da Silva, J. A. G., de Resende, M. L. V., Ribeiro, I. S., Lima, A. R., Albuquerque, L. R. M., Monteiro, A. C. A., Pereira, M. H. B., & Botelho, D. M. D. S. (2021). Chemical Composition, Production of Secondary Metabolites and Antioxidant Activity in Coffee Cultivars Susceptible and Partially Resistant to Bacterial Halo Blight. *Plants*, 10(9), 1915.
<https://doi.org/10.3390/plants10091915>
- Erskine, E., Gültekin Subaşı, B., Vahapoglu, B., & Capanoglu, E. (2022). *Fenoles del café y su interacción con otros fenólicos de los alimentos: Efectos antagónicos y sinérgicos—PMC*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8772327/>
- FAO. (2024). *Coffee | Markets and Trade | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/beverages/coffee/en>
- Farag, M. A., Zayed, A., Sallam, I. E., Abdelwareth, A., & Wessjohann, L. A. (2022). Metabolomics-Based Approach for Coffee Beverage Improvement in the Context of Processing, Brewing Methods, and Quality Attributes. *Foods*, 11(6), 864.
<https://doi.org/10.3390/foods11060864>
- Finta, H., Pál, S., Solymár, M., Fausto, Z., Cherecheș, M.-C., Ruța, F., Ceană, D.-E., Buicu, C.-F., & Nemes-Nagy, E. (2026). *Compuestos bioactivos en el café: Metabolismo, biodisponibilidad y efectos sobre la salud: Una revisión*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules31091404>

- Freire Muñoz, D. A. (2025). *Análisis económico y de producción del café que se produce en la parroquia de Malacatos provincia de Loja*.
- Freitas, V. V., Borges, L. L. R., Vidigal, M. C. T. R., dos Santos, M. H., & Stringheta, P. C. (2024). Coffee: A comprehensive overview of origin, market, and the quality process. *Trends in Food Science & Technology*, 146, 104411.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104411>
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486-489.
<https://doi.org/10.5812/ijem.3505>
- Gligor, O., Clichici, S., Moldovan, R., Muntean, D., Vlase, A.-M., Nadăș, G. C., Matei, I. A., Filip, G. A., Vlase, L., & Crișan, G. (2023). The Effect of Extraction Methods on Phytochemicals and Biological Activities of Green Coffee Beans Extracts. *Plants*, 12(4), 712. <https://doi.org/10.3390/plants12040712>
- Gomez Aguilar, V. A. (2024). *Estudio de mercado para la comercialización de café molido tradicional “Lojanías” de la ciudad de Loja*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/31267>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Á., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57-60.
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, 11(8), 2248.
<https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- International Coffee Organization. (2025). *Annual review 2024/25: Advancing global cooperation to strengthen a sustainable and resilient coffee sector*. .
<https://www.ico.org/documents/cy2025-26/annual-review-2024-2025-e.pdf>

- Iriondo-DeHond, A., Rodríguez Casas, A., & del Castillo, M. D. (2021). Interest of Coffee Melanoidins as Sustainable Healthier Food Ingredients. *Frontiers in Nutrition*, 8, 730343. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.730343>
- Jaramillo Sánchez, L., & Vera, T. (2021). *Zonificación Agroecologica del Cultivo de Café (Coffea arabica L.) en la Provincia de Loja bajo escenarios de Cambio Climático* [Thesis, ESPOL. FIMCM: Maestría en Cambio Climático]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/55448>
- 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>
- Kedare, S. B., & Singh, R. P. (2011). Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of food science and technology*, 48(4), 412-422. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>
- Kim, H.-Y. (2015). Statistical notes for clinical researchers: Post-hoc multiple comparisons. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 40(2), 172-176. <https://doi.org/10.5395/rde.2015.40.2.172>
- Kim, T. K. (2017). Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean Journal of Anesthesiology*, 70(1), 22-26. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.1.22>
- Kwapien, E., Piszka, M., Czarnecki, F., Mesyasz, M., Owczarska, A., Dacyl, H., Banach, J., Kasprzyk, W. Z., Luczak, J. K., Bartkowski, J., Kwapien, E., Piszka, M., Czarnecki, F., Mesyasz, M., Owczarska, A., Dacyl, H., Banach, J., Kasprzyk, W. Z., Luczak, J. K., & Bartkowski, J. (2025). Habitual Coffee Consumption and Systemic Health Outcomes: A Comprehensive Review. *Cureus*, 17. <https://doi.org/10.7759/cureus.99094>
- Liang, N., & Kitts, D. (2014). *Propiedad antioxidante de los componentes del café: Evaluación de los métodos que definen los mecanismos de acción*. <https://www.mdpi.com/1420-3049/19/11/19180>

- Liao, Y.-C., Kim, T., Silva, J. L., Hu, W.-Y., & Chen, B.-Y. (2022). Effects of roasting degrees on phenolic compounds and antioxidant activity in coffee beans from different geographic origins. *LWT*, 168, 113965. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113965>
- Liu, X., Fei, Y., Wang, W., Lei, S., Cheng, C., Xing, Z., Liu, X., Fei, Y., Wang, W., Lei, S., Cheng, C., & Xing, Z. (2022). Physicochemical difference of coffee beans with different species, production areas and roasting degrees. *Beverage Plant Research*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.48130/BPR-2022-0007>
- Lu, H., Tian, Z., Cui, Y., Liu, Z., & Ma, X. (2020). Chlorogenic acid: A comprehensive review of the dietary sources, processing effects, bioavailability, beneficial properties, mechanisms of action, and future directions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3130-3158. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12620>
- Makiso, M. U., Tola, Y. B., Ogah, O., & Endale, F. L. (2024). Bioactive compounds in coffee and their role in lowering the risk of major public health consequences: A review. *Food Science & Nutrition*, 12(2), 734-764. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3848>
- Mannino, G., Kunz, R., & Maffei, M. E. (2023). Discrimination of Green Coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of Different Geographical Origin Based on Antioxidant Activity, High-Throughput Metabolomics, and DNA RFLP Fingerprinting. *Antioxidants*, 12(5), 1135. <https://doi.org/10.3390/antiox12051135>
- Marín-García, C., & Puerta-Quintero, G. I. (2008). *Contenido de ácidos clorogénicos en granos de Coffea arabica L. y C. canephora, según el desarrollo del fruto*. 59(1), 7-28.
- Martins, V. de C., da Silva, M. A. E., da Veiga, Jr, V. F., Pereira, H., & de Rezende, C. M. (2025). *Ent-Kaurane Diterpenoids from Coffea Genus: An Update of Chemical Diversity and Biological Aspects*. <https://www.mdpi.com/1420-3049/30/1/59>
- MASH. (s. f.). *Guides: MASH: Maths and Stats Help: Levene's Test for Homogeneity of Variances (R)*. Recuperado 20 de julio de 2026, de https://guides.library.lincoln.ac.uk/mash/levenes_test_R

- Mihai, R. A., Ortiz-Pillajo, D. C., Iturralde-Proañó, 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. (2024). 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>
- Monrroy, M., Arauz, O., & García, J. R. (2026). Phenolic Composition, Antioxidant Activity and Caffeine as Chemical Markers for Differentiating Panamanian *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. *Molecules*, 31(9), 1534. <https://doi.org/10.3390/molecules31091534>
- Nasiro, K. (2024). Arabica Coffee: Genetic Diversity, Conservation Challenges, and Breeding Approaches. *International Journal of Food Science and Biotechnology*, 9(4), 80-106. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20240904.14>
- Núñez-Alejos, L., León-Roque, N., Núñez-León, J. L., & Miyagusuku-Cruzado, G. (2026). Efecto de la fermentación y el tostado sobre los compuestos bioactivos en variedades de *Coffea arabica*. *Food Chemistry Advances*, 11, 101281. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2026.101281>
- Panchi, P. A. M., & Panchi, D. F. M. (2025). Pruebas estadísticas de normalidad: Un análisis comparativo entre Kolmogórov-Smirnov, Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Ryan-Joiner Y Jarque-Bera. *CIENCIA UNEMI*, 18(49). <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol18iss49.2025pp%25pp>
- Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17543-17553. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>
- Pokharel, S., Pandey, G. R., Shrestha, A., Shrestha, R., Tiwari, D., Khanal, B. C., & Silwal, S. (2023). Molecular Identification and Antioxidant Activity Determination among Coffee

- Varieties Cultivated in Nepal. *The Scientific World Journal*, 2023(1), 7744647.
<https://doi.org/10.1155/2023/7744647>
- Pratiwi, A., Syah H, A., Febranti, N., & Eryati, E. (2025). *Análisis comparativo de la actividad antioxidante en café arábica (Coffea arabica L.) mediante diversos procesos postcosecha: Luwak, miel, lavado completo, natural | BIS Ciencias de la Salud y del Medio Ambiente*. <https://unimma.press/conference/index.php/bishes/article/view/240>
- Rodríguez Chamba, A. Y. (2020). *Caracterización de la cadena de valor del café bajo la modalidad tradicional y asociativa en el cantón Loja, provincia de Loja, periodo 2019-2020*. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/23522>
- Rojas-Chacón, J. A., Echeverría-Beirute, F., Madrigal, J. P. J., Gatica-Arias, A., Rojas-Chacón, J. A., Echeverría-Beirute, F., Madrigal, J. P. J., & Gatica-Arias, A. (2024). Microorganismos de suelo y su relación con la calidad de la bebida de café: Una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1). <https://doi.org/10.15517/am.2024.57260>
- Navarrete Romero, Y. G. (2017). Determinación de la calidad fenólica total de la pulpa del café *Coffea arabica* L. [Trabajo de titulación, UTPL]. <https://bibliotecautpl.utpl.edu.ec/cgi-bin/abnetclwo?ACC=DOSEARCH&xsqf99=116818.TITN>.
- RStudio. (2024). *RPubs—Cómo realizar e interpretar la prueba de Shapiro-Wilk en R*. <https://rpubs.com/zubairishaq9/Shapiro-Wilk-Test-R>
- Rusinek, R., Jr, B. D., Gawrysiak-Witulska, M., Siger, A., Żytek, A., Karami, H., Umar, A., Lipa, T., & Gancarz, M. (2024). *Effect of the roasting level on the content of bioactive and aromatic compounds in Arabica coffee beans*. <https://doi.org/10.31545/intagr/176300>
- Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, 111932. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>

- Sultana, S., Hossain, M. L., Sostaric, T., Lim, L. Y., Foster, K. J., & Locher, C. (2024). Investigating Flavonoids by HPTLC Analysis Using Aluminium Chloride as Derivatization Reagent. *Molecules*, 29(21), 5161. <https://doi.org/10.3390/molecules29215161>
- Tieghi, H., Pereira, L. de A., Viana, G. S., Katchborian-Neto, A., Santana, D. B., Mincato, R. L., Dias, D. F., Chagas-Paula, D. A., Soares, M. G., de Araújo, W. G., & Bueno, P. C. P. (2024). Effects of geographical origin and post-harvesting processing on the bioactive compounds and sensory quality of Brazilian specialty coffee beans. *Food Research International*, 186, 114346. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114346>
- Vicente Quille, C. A. (2019). *Efecto del beneficio seco, húmedo, semi seco y honey sobre la concentración de compuestos bioactivos del café (Coffea arabica L.) mediante espectrofotometría UV-visible*. [masterThesis]. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/23804>
- Vicente-Zurdo, D., Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., & León-González, M. E. (2024). A Comprehensive Analytical Review of Polyphenols: Evaluating Neuroprotection in Alzheimer's Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 5906. <https://doi.org/10.3390/ijms25115906>
- Wu, H., Gu, J., BK, A., Nawaz, M. A., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2022). Effect of processing on bioaccessibility and bioavailability of bioactive compounds in coffee beans. *Food Bioscience*, 46, 101373. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101373>
- 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>
- Yashin, A., Yashin, Y., Wang, J. Y., & Nemzer, B. (2013). Antioxidant and Antiradical Activity of Coffee. *Antioxidants*, 2(4), 230-245. <https://doi.org/10.3390/antiox2040230>
- Yeager, S. E., Batali, M. E., Guinard, J.-X., & Ristenpart, W. D. (2023). Acids in coffee: A review of sensory measurements and meta-analysis of chemical composition. *Critical Reviews*

in Food Science and Nutrition, 63(8), 1010-1036.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1957767>