



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**Evaluación fisicoquímica de tres variedades de Coffea arabica (café)
procesadas en tres niveles de tueste (claro, medio y oscuro)**

**HEREDIA VALAREZO GISELA ESTEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

**Evaluación fisicoquímica de tres variedades de Coffea arabica (café)
procesadas en tres niveles de tueste (claro, medio y oscuro)**

**HEREDIA VALAREZO GISSELA ESTEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE ALIMENTOS

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**Evaluación fisicoquímica de tres variedades de Coffea arabica
(café) procesadas en tres niveles de tueste (claro, medio y oscuro)**

**HEREDIA VALAREZO GISSELA ESTEFANIA
INGENIERA EN ALIMENTOS**

MATUTE CASTRO NUBIA LISBETH

**MACHALA
2024**

Evaluación fisicoquímica de tres variedades de café arábica (Coffea arabica): Sarchimor rojo, Acawa y Catuai amarillo, procesadas en tres niveles de tueste (claro, medio y oscuro).

2%

Textos sospechosos

2% Similitudes

- 0% similitudes entre comillas
- 0% entre las fuentes mencionadas
- 4% Idiomas no reconocidos (ignorado)

Nombre del documento: TURNITIN TESIS - HEREDIA.docx ID del documento: 766e4a2423bf22b36c40b76321c98f03a53cf030 Tamaño del documento original: 672,09 kB Autor: Gissela Estefania Heredia Valarezo	Depositante: Nubia Lisbeth Matute Castro Fecha de depósito: 17/2/2025 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 17/2/2025	Número de palabras: 11.340 Número de caracteres: 69.765
--	---	--

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.ups.edu.ec https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28930/1/UPS-GT005656.pdf 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (78 palabras)
2	www.cenicafe.org https://www.cenicafe.org/es/publications/Articulo_ValentinaOsorio.pdf 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.anacafe.org https://www.anacafe.org/uploads/file/4f91ff8c819a44548ce5f54900fb4e88/Guia-variedades-y...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
2	repositorio.unesum.edu.ec https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6266/1/Galarza_Pisco_María_José.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
3	repositorio.unesum.edu.ec http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1281/1/UNESUM-ECUADOR-AGROPECUA...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
4	Documento de otro usuario #f4d940 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
5	Tesis cáscara madura Musa paradisiaca.docx Estudios fitoquímicos y... #d05001 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, HEREDIA VALAREZO GISSELA ESTEFANIA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación fisicoquímica de tres variedades de café arábica (*Coffea arabica* L): Sarchirmor Rojo, Acawa y Catuai Amarillo, procesadas en tres niveles de tueste (claro, medio y oscuro)., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



HEREDIA VALAREZO GISSELA ESTEFANIA

0705768331

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi hija, Stefany Julibeth, quién ha sido mi fuerza y mi mayor inspiración y a quien, en tan corta edad, le toco vivir y entender junto conmigo el sacrificio que conlleva una carrera universitaria y estar lejos de casa. Gracias por ser quien me espera cada fin de semana y entiende que, a veces, no puedo jugar. Te amo y esto por ti y para ti, mi princesa.

A mis ángeles del cielo, a quienes llevo siempre presente en mi corazón. Los amo y extraño cada día de mi vida. Espero que, desde el cielo, me sigan cuidando y se sientan orgullosos de mí.

A mis abuelitos que aún me acompañan, Bolívar Heredia e Irma Seraquive, quienes con su bendición me acompañan siempre.

A mis padres y a toda mi familia que son mi gran apoyo e inspiración. Los Amo.

AGRADECIMIENTO

Dicen que 5 años se pasan volando y tienen razón, pero se pasan más rápido cuando tienes quien te acompañe en el proceso.

Quiero agradecer a Dios por ser mi guía y luz en este camino. Como lo dije un día, «que todo se haga de acuerdo con Su voluntad». Y Su voluntad es la que me traido hasta este punto. A mis padres, Milton Heredia y Liliana Valarezo, gracias por no dejarme sola y motivarme emocional y económicamente. A mi hija, Julibeth, gracias por ser mi motivo y mi inspiración. A mi primo, Rony, por haberme enseñado a no rendirme nunca. En especial, a toda mi familia por todos sus consejos.

Agradezco a mi tutora de tesis, la Ing. Nubia Matute, por haberme aceptado y ser mi guía e inspiración. A mí cotutora, Dra. Mercedes Campo, la Ing. Gaby y el Ing. Fabián, por su orientación y su apoyo a lo largo de este proceso. Ingeniero Luis Cedeño, gracias por sus consejos que me permitieron comprender muchas cosas a lo largo de mi carrera. A toda la planta docente que tuve el grato honor de conocer. Gracias por su cátedra y sus consejos que me permitieron entender muchas cosas.

Verito, gracias por haberme brindado su amistad, sus consejos y su apoyo incondicional en forma de abrazos que me ayudaron a no decaer.

Adry, Valeria, Valentina y Luis, gracias por ser esos amigos que siempre confiaron en mí y me brindaron su apoyo incondicional.

A mis amigos por haberme acompañado durante este proceso, por sus risas y cada momento que compartimos.

Agradezco a cada persona que conocí en esta etapa de mi vida. A la Carrera de Alimentos y la UTMACH, por haberme abierto las puertas.

RESUMEN

El café es uno de los productos más consumidos a nivel nacional y mundial, debido a sus características sensoriales únicas y exquisitas que presenta, pero el café va mucho más allá de eso, ya que en su composición química presenta compuestos bioactivos que deben ser analizados en mayor profundidad para conocer en qué medida están presentes en los granos de café tanto en su composición verde, como después de procesos que permiten su consumo directo. Es por eso que en esta investigación nos hemos planteado como objetivo determinar e identificar los compuestos que se forman en tres grados de tueste de café, claro, medio y oscuro, en tres variedades poco estudiadas y analizadas como son Sarchimor Rojo, Catuai Amarillos, y Awaca, variedades que se han adaptan a las condiciones climáticas presentan y a las enfermedades que pueden afectarles.

Los tuestes se realizaron a diferentes tiempos: 20, 30 y 45 minutos y a temperatura entre 200 a 300 °C. Se llevó a cabo análisis de capacidad antioxidante (DPPH y FRAP), contenido fenólico (folin-ciocalteu), cafeína (espectrofotómetro UV-Visible), color (CIELab) y grasa (método Soxhlet). Para esto se prepararon muestras hidroalcolicas (80:20), para tener una muestra con mayor confianza.

Donde pudimos evidenciar que Luminosidad tiende a reducirse y tiende a colores oscuros referentes a los grados de tueste estudiados, a la Aw se ve que el café presenta valores de (0,16 a 0,32), lo que permite mantenerse estable frente a ataques microbiológicos y pueda mantener su vida útil por más tiempo, la capacidad antioxidante Fenoles se ven afectados disminuyendo en conforme aumenta el grado de tueste, es decir que el tueste sí tiende a influir en estos compuestos, La cafeína, por su lado, no presentó diferencias significativas y se pudo comprobar que este alcaloide es termoestable, finalmente en el contenido de grasa se observa un aumento conforme aumenta su tueste. Con esto podemos concluir que existen variaciones en su composición química de los granos y el tratamiento térmico aplicado.

Palabras claves: Café, compuestos bioactivos, tueste, variedad.

ABSTRACT

Coffee is one of the most consumed products at both the national and global levels, due to its unique and exquisite sensorial characteristics, but coffee goes far beyond that, since its chemical composition contains bioactive compounds that require further analysis to determine their presence in coffee beans both in their green composition, and after processes that allow their direct consumption. That is why in this research we have set ourselves the objective of determining and identifying the compounds that are formed in three degrees of coffee roasting, light, medium and dark, in three little studied and analyzed varieties such as Red Sarchirmor, Yellow Catuai, and Awaca, varieties that have adapted to the climatic conditions they present and to the diseases that can affect them.

The roasting process was carried out at different times 20, 30 and 45 minutes and at temperatures between 200 and 300 °C. Antioxidant capacity analysis (DPPH and FRAP), phenolic content (folin-ciolcateu), caffeine (UV-Visible spectrophotometer), color (CIELab) and fat (Soxthel method) were carried out. For this, hydroalcoholic samples (80:20) were prepared, to have a sample with greater confidence.

Where we were able to show that Luminosity tends to reduce and tends to dark colors referring to the degrees of roasting studied, to the Aw it is seen that the coffee presents values (0.16 to 0.32), which allows it to remain stable against microbiological attacks and can maintain its useful life for longer, the antioxidant capacity Phenols are affected by decreasing as the degree of roasting increases, that is, roasting does tend to influence these compounds, caffeine on the other hand did not present significant differences, and could be compared with studies that report that this alkaloid is thermostable, finally, an increase in fat content is observed as roasting progresses. With this we can conclude that there are variations in its chemical composition of the grams and the heat treatment applied.

Keywords: Coffee, bioactive compounds, roasting, variety

INDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCION	- 8 -
PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	- 11 -
JUSTIFICACION	- 12 -
OBJETIVOS.....	- 13 -
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	- 14 -
1.1 Café Arábica	- 14 -
1.1.1 Generalidades.....	- 14 -
1.1.2 Taxonomía	- 14 -
1.1.3 Composición química	- 15 -
1.2 Híbridos de café.....	- 17 -
1.2.1 Sarchimor Rojo	- 17 -
1.2.2 Catuai amarillo.....	- 17 -
1.2.3 Acawa.....	- 18 -
1.3 Proceso de tueste de café.....	- 19 -
1.3.1 Tueste Nivel claro	- 20 -
1.3.2 Tueste nivel medio	- 20 -
1.3.3 Tueste nivel oscuro	- 20 -
1.3.4 Composición química del café después del tostado.....	- 20 -
1.4 Métodos de determinación de propiedades físicas	- 21 -
1.4.1 Método CIELAB.....	- 21 -
1.5 Métodos de determinación de compuestos químicos	- 22 -
1.5.1 Método Aw	- 22 -
1.5.2 Método de Folin-Ciocalteu	- 22 -
1.5.3 Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazilo).....	- 23 -
1.5.4 Método FRAP (Poder antioxidante de la reducción férrica).....	- 23 -
1.5.5 Método de Cafeína	- 23 -
1.5.6 Método de extracción de grasa.....	- 24 -
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	- 25 -
2.1 Ubicación de la investigación	- 25 -
2.2 Materia prima.....	- 25 -

2.3	Preparación de la muestra.....	- 25 -
2.4	Determinación parámetros físicos	- 26 -
2.4.1	Color.....	- 26 -
2.5	Determinación de parámetros químicos	- 26 -
2.6	Preparación de los granos y su tueste.....	- 34 -
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		- 37 -
3.1	Determinación de Aw.....	- 37 -
3.2	Determinación de color	- 38 -
3.3	Determinación de fenoles totales.....	- 43 -
3.4	Determinación de capacidad antioxidante.....	- 44 -
3.4.1	Método DPPH.....	- 44 -
3.4.2	Método FRAP	- 46 -
3.5	Determinación de Cafeína.....	- 48 -
3.6	Determinación de grasa.....	- 50 -
CAPITULO IV. CONCLUSIONES		- 52 -
RECOMENDACIONES.....		- 52 -
BIBLIOGRAFIAS		- 53 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Taxonomía Café arábica.....	- 14 -
Tabla 2. Composición química del café verde.....	- 15 -
Tabla 3. Determinación de Aw en tres variedades de café.....	- 37 -
Tabla 4. Perfil de tostado en escala AGTRON/SCA y L*a*b*.....	- 39 -
Tabla 5. Determinación de grado de tueste.....	- 39 -
Tabla 6. Parámetros de color de tres variedades de café Sarchirmor Rojo, Acawa y Catuai Amarillo en tres grados de tueste.	- 40 -
Tabla 7. Cuantificación de fenoles totales.	- 43 -
Tabla 8. Cuantificación de actividad antioxidante método DPPH.	- 45 -
Tabla 9. Cuantificación de actividad antioxidante método FRAP.....	- 47 -
Tabla 10. Cuantificación de cafeína en 3 variedades de café en diferentes niveles de tueste.	- 49 -
Tabla 11. Porcentaje de grasa por el método Soxhletl.	- 50 -

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de calibración para la cuantificación de fenoles totales	- 28 -
Figura 2. Curva de calibración para la cuantificación de capacidad antioxidante para ensayo DPPH.....	- 30 -
Figura 3. Curva de calibración de la capacidad antioxidante para ensayo FRAP	- 32 -
Figura 4. Curva de calibración de contenido de cafeína.....	- 33 -

INDICE DE GRAFICOS

Grafica 1. Representación del espacio cromático cilíndrico CIE-L*C*h°	- 41 -
Grafica 2 . Evolución de los parámetros de color del sistema CIExy de tres variedades de café en tres grados de tueste diferentes.	- 42 -

INTRODUCCION

El café es un producto agrícola con mayor consumo y valor de exportación a nivel mundial, por lo que se ha consolidado como un pilar fundamental en el comercio agrícola internacional y una fuente principal de ingresos para numerosos países productores (García et al., 2024). Entre las especies que más destacan se encuentran *Coffea arabica* (arábigo) y *Coffea canephora* (robusta), que en producción mundial representan aproximadamente el 63 % y 37 % respectivamente (Jiménez & Massa, 2015). Su consumo se encuentra en un estimado de 600 mil millones de tazas anuales, y su demanda sigue en aumento, proyectándose a setenta y cinco millones de nuevos consumidores y un incremento de tres millones de sacos adicionales por año (Ocampo & Álvarez, 2017).

La especie *Coffea arabica* se destaca por la alta calidad sensorial y química que presenta, la cual lo ha posicionado como un producto exclusivo dentro del mercado internacional. Pero esta calidad no solo depende de la variedad de la planta, sino de los procesos como la postcosecha y el tueste que es uno de los factores más determinantes en la transformación de sus propiedades físicas y químicas. Este proceso no solo permite definir atributos clave como el sabor, el color y el aroma del café, sino que también interviene en parámetros físico-químicos esenciales como la densidad, humedad y el contenido de compuestos bioactivos, los cuales juegan un papel importante en la estabilidad y calidad del producto terminado (Osorio et al., 2021; Porras et al., 2019).

El tueste es un procedimiento que tiende a generar cambios importantes en las propiedades sensoriales, físicas y químicas del café. En este proceso, los granos deben someterse a temperaturas que varían entre 180 y 250 °C, lo que produce su expansión entre 50 % - 80 %, una pérdida de peso del 11 % al 20 %, su estructura se vuelve frágil y se origina el color marrón característico por la caramelización del azúcar (Osorio & Pabón, 2022). En este proceso se observan cuatro fases principales: secado, desarrollo, descomposición y tueste completo. Cuando se tiene una temperatura de 50 °C, se comienzan a producir los principales cambios como la desnaturalización de proteínas y la evaporación del agua, cuando se tiene una temperatura por encima de los 100 °C se produce el tueste debido al pirolisis de los compuestos orgánicos; aproximadamente a los 150 °C se genera una liberación de compuestos volátiles que generan un aumento del

volumen. La etapa de degradación comienza en 180 - 200 °C, se lo distingue por la liberación del aroma del café y el estallido del grano o crepitación. Para finalizar este proceso se necesita una caramelización óptima, en donde el contenido de humedad de los granos disminuye entre 1,5 % al 3,5 % (Osorio et al., 2021).

Durante el tueste se da una transformación total del contenido químico del café, produciéndose varias reacciones entre los elementos del grano. Las variaciones en los responsables de aromas como ácidos clorogénicos, proteínas, y carbohidratos en el café verde de la misma variedad, están relacionadas con las diferencias en la calidad del café obtenido tras el proceso de tostado (De Luca et al., 2016). La creación de compuestos químicos del café tostado y las alteraciones significativas causadas por la temperatura son resultado de dos mecanismos fundamentales de reacción: el proceso de caramelización y la reacción de Maillard. En el proceso de caramelización, un calor excesivo genera la caramela o humina, que posee un alto peso molecular y un sabor desagradable, en la reacción de Maillard se producen los compuestos volátiles y no volátiles que generan el sabor y olor del café tostado como productos terminados, además se generan pigmentos que son los responsables de la coloración de los granos de café que pasan de color verde a café oscuro (Osorio & Pabón, 2022).

Los granos que tienen un tueste oscuro contienen una menor acidez y cantidad de cafeína comparada con los granos más claros, y también periodos menores de conservación, esto se debe a la cantidad de aceites que se encuentran en la superficie. En los tuestes más oscuros va a predominar el sabor ahumado, penetrante y quemado, haciendo que se oculte el verdadero sabor del grano. Los granos tostados claros poseen sabores más marcados, y más acidez que los tostados más oscuros, ya que el café ha sido menos expuesto a temperatura, por lo cual las cualidades del grano se mantienen mejor. Los tostados más claros se seleccionan granos de más alta calidad, ya que se expone el sabor real del grano (Parada et al., 2017).

A pesar de su importancia, el tueste es un proceso que aún presenta áreas poco estudiadas, especialmente en lo que respecta a cómo las variables de temperatura y tiempo afectan las propiedades fisicoquímicas del café. Esta investigación tiene como objetivo evaluar las características fisicoquímicas de tres variedades de *Coffea arabica* en tres niveles de tueste (ligero, medio y oscuro), analizando su influencia en parámetros físicos

como el color, la densidad, la humedad y el tamaño de partícula, así como en compuestos bioactivos clave como los fenoles y la cafeína. Este análisis busca aportar conocimiento que contribuya a la mejora de los procesos de tueste y a la optimización de la calidad del café.

PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

El café se considera como uno de los productos agrícolas de mayor consumo y exportación a nivel mundial, ya que tiene propiedades sensoriales y químicas que lo convierten en un producto de alta necesidad. Entre las especies con mayor valoración, *Coffea arábica* tiende a sobresalir por su alta calidad, atribuida a elementos como su origen, variedad y métodos de post recolección (Osorio & Pabón, 2022). Sin embargo, uno de los factores cruciales que afectan a la calidad final del café es el proceso de tueste, ya que modifica sus características fisicoquímicas, estructurales y organolépticas (Jiménez et al., 2011).

Ecuador es un país con tradición cafetalera y uno de los pocos productores de café arábico y robusta, pero la producción ha sufrido grandes desafíos, desde la década de 1990, como una disminución en su volumen de producción, que han afectado a su competitividad en el mercado internacional (Venegas et al., 2018). A pesar de esto el café ecuatoriano sigue siendo reconocido por su calidad, pero esta caída en la producción resalta la necesidad de fortalecer el conocimiento técnico y científico en factores que actúan sobre la calidad del producto final, como las características de las variedades cultivadas y el proceso de tueste (Fermín et al., 2012).

A pesar de que es importante la interacción que existe entre la variedad y nivel tueste, se encuentran pocos estudios de cómo se afectan con interacción las variedades cultivadas en Ecuador de café arábica, específicamente en propiedades fisicoquímicas como humedad, color, aw, y compuestos bioactivos (compuestos fenólicos, cafeína, capacidad antioxidante), entre otros. Por lo que esta escasez dificulta mejorar el proceso de tueste, para brindarle al consumidor y al mercado global productos que cumplan con parámetros de calidad. Por lo tanto, resulta importante determinar de qué manera las variedades de café y el nivel de tueste influye en las propiedades fisicoquímicas del producto, ya que estas variables son cruciales para definir su calidad y estabilidad.

JUSTIFICACION

El café ha sido uno de los productos más emblemáticos en el Ecuador y a nivel mundial, debido a que es un producto agrícola con gran importancia económica y una de las bebidas más consumidas (Velásquez, 2019), en la provincia de El Oro se destaca la producción de *caffea arábica*, porque es una de las variedades que se adapta a las condiciones locales y por su potencial para la producción de variedades de café de especialidad, con perfiles de calidad y sabores distintivos (Chavez et al., 2024).

Las propiedades fisicoquímicas de esta variedad se pueden ver afectadas por varios factores como sus condiciones de cultivo, procesos postcosecha, entre estos el tueste que es uno de los factores con mayor influencia en la calidad del producto final. Investigaciones sobre evaluaciones fisicoquímicas del café demuestran que el nivel de tueste puede influir directamente en su composición química (Puerta, 2013).

Conocer estos efectos es fundamental dentro de la industria alimentaria y cafetalera, ya que permite identificar los niveles de tueste ideales para cada variedad, optimizando la calidad del producto final y su aceptación dentro del mercado. Esta investigación tiene como enfoque principal determinar el impacto que causa el proceso tueste en tres niveles distintos en las propiedades fisicoquímicas de tres híbridos de café arábica, además de determinar la posible contribución a la mejora del conocimiento y las prácticas dentro de estas industrias, fortaleciendo la productividad de café ecuatoriano y fomentando el consumo de productos de alta calidad.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Evaluar las características fisicoquímicas de tres variedades de café arábica en tres niveles de tueste, con el propósito de analizar cómo el nivel de tueste y la variedad de café afectan las propiedades físicas y químicas del producto, así como su calidad y estabilidad.

Objetivos específicos:

- Evaluar las propiedades físicoquímicas de las tres variedades de café arábica en tres niveles de tueste para relacionar dichas propiedades con la calidad del producto y su estabilidad, mediante técnicas analíticas.
- Identificar, mediante técnicas químicas, la influencia de la variedad y el nivel de tueste en la calidad química del producto, con enfoque en su bioactividad

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Café Arábica

1.1.1 Generalidades

La especie arábica, es una de las más cultivada en el mundo y presenta aprox. el 60 % de la producción mundial y el 67 % de la producción nacional, se cultiva en altitudes de los 1.000 a los 1.800 metros sobre el nivel del mar, es decir en las regiones subtropicales (Cedeño & Zapata, 2024). Se lo conoce por su arbusto grande, sus flores blancas similares al jazmín y hojas ovaladas verde oscuro. Los frutos, conocidos como cerezas, contienen dos granos de café y se maduran en un período de 7 a 9 meses (Vázquez, 2023).

Dentro de las especies del género *Coffea*, la especie arábica es la única autógena, es decir que sus flores se pueden autopolinizar, pero solo podría darse un máximo del 9 % de polinización cruzada (intervención del polen de flores de otras plantas) (Villena, 2022). Esto da debido a que la especie arábica es una planta tetraploide, que se compone de células que poseen doble cromosomas comparado con una célula somática normal (Velásquez, 2019).

El café arábigo posee un sabor suave, ligeramente ácido y naturalmente dulce. Debido a que sus granos tienen una concentración alta de azúcares. Además, su aroma es terso y afrutado y la cafeína en sus granos se presenta en menor proporción que en las otras especies. Según el (INIAP, 2019) las principales variedades arábicas cultivadas en el Ecuador son: Caturra, Bourbon, Catuai, y los híbridos: Sarchimor, Cultivar Catimor y Acawa, donde la producción nacional en cantidad y calidad de bebida, contribuyen al acceso y posicionamiento de mercados especiales (Cedeño, 2024).

1.1.2 Taxonomía

Tabla 1: Taxonomía Café arábica

Reino:	Vegetal
Subreino:	Angiosperma

Clase:	Dicotiledónea
Orden:	Rubiales
Familia:	Rubiaceae
Género:	Coffea
Especie:	C. Arabica L

Fuente: (Herrera & Cortina, 2013).

1.1.3 Composición química

La composición química del café tiende a ser compleja, debido a diversos factores como su origen, temporada de cosecha, y principalmente su variedad, dentro de sus compuestos los carbohidratos sobresalen con un porcentaje de 60% del total de su peso, lípidos en un 15-20%, proteínas 10-15%, 3-5% de minerales y finalmente la cafeína 1% (Saud y Salamatullah, 2021; Wei & Tanokura, 2015).

Tabla 2. Composición química del café verde.

Contenido de ingredientes	(%)
Carbohidratos	60.0
Azúcar reductor	1.0
Sacarosa	7.0
pectina	2.0
Almidón	10.0
Pentano	5.0
Hemicelulosa	15.0
Celulosa entera	18.0
Lignina	2.0
Grasa	13.0
Proteína	13.0
Contenido de cenizas (óxido)	4.0
Ácido tánico	13.0
Ácido N-metilnicotínico (soluble)	1.0
Cafeína (soluble)	1.0≈2.0

Nota: Contenido en porcentaje de los principales componentes del café verde (Saud y Salamatullah, 2021).

1.1.3.1 Agua

El contenido de agua inicial del café pergaminado húmedo es del 55%, lo que da paso al deterioro fisicoquímico, biológico y organoléptico, por lo cual debe ser sometido a un proceso de secado hasta obtener 10-12% de humedad, lo que significa que se reduce la actividad de agua del 0,97- 0,98 del café pergaminado lavado, hasta 0,6 –0,67% de un café pergaminado seco, con estos valores el café será más estable para su procesamiento posterior (Puerta, 2006).

1.1.3.2 Lípidos

En el café almendra en grano se encuentra un aceite que es propio de este, que se lo conoce como cera de café, que encuentra en el endospermo y en sus capas externas. El contenido de lípidos para la especie arábica es del 12 al 18% y está compuesta en su mayor parte por triglicéridos, que se conforman principalmente por ácido palmítico y linoleico, que representan el 75% de contenido lipídico. El 20-25% se encuentra representado por los lípidos insaponificables (ácido palmítico), 2,2% de esteroides y 0,11% de colesterol (Folstar, 1985; Puerta, 2011).

1.1.3.3 Compuestos bioactivos

El 64% de los antioxidantes que el ser humano consume los contribuye el café, en los granos verdes los compuestos fenólicos se encuentran presentes como una familia de ésteres que se conforman por el ácido hidroxicinámico y ácidos quínicos conocidos como ácidos clorogénicos (CGAs), la concentración de estos representa hasta el 14% del peso en grano, y tienen influencia en determinación de formación del olor y calidad del café (Svilaas et al., 2004; Farah & Donangelo, 2006).

Entre otros compuestos en el grano verde de café se encuentran la Cafeína, metilxantina, y teobromina, la cafeína es el principal alcaloide del café y la concentración de este dependerá de la variedad, tostado y preparación de la bebida (Hečimović et al., 2011; Zanín et al., 2016).

1.2 Híbridos de café

1.2.1 Sarchimor Rojo

1.2.1.1 Generalidades

EL Sarchimor es un tipo de café híbrido que se origina del cruzamiento de las variedades Villa Sarchí CIFIC 971/10 x Híbrido de Timor CIFIC 832/2, que se desarrolló en el Centro de Investigaciones de las royas del cafeto. En 1985, en Ecuador se introdujeron las especies Sarchimor C-1669 Y Sarchimor C-4260, los cuales presentan excelentes características de crecimiento y resistencia a patógenos como la roya (Ormaza, 2012).

El híbrido Sarchimor C-1669 se adapta ampliamente principalmente a zonas secas, como las provincias de Manabí, el Oro y Loja; se diferencia por el porte bajo de sus plantas, alta productividad, bajo índice de frutos vanos y resistencia a la roya anaranjada, en cambio el híbrido Sarchimor C-4269 se caracteriza por su porte mediano, brotes tiernos de color bronceado-rojizos, alta productividad, en frutos vanos posee un bajo índice y presenta resistencia a la roya (Piguave et al., 2018; Guambi et al., 2018)

Es una planta de porte medio-bajo, hojas largas y cuando son nuevas poseen color verde claro, sus entrenudos son de tamaño medio, los frutos rojos y grandes y su calidad de bebida es muy buena (Julca et al., 2023; Pincay et al., 2022).

1.2.2 Catuai amarillo

1.2.2.1 Generalidades

Esta variedad de café se originó en Brasil en 1994 como resultado del cruce artificial en diferentes variedades denominadas Mundo Novo (*Sumatra x Bourbon*) y Caturra (Mutación de *Bourbon*). Comprende dos cultivares comerciales que se

diferencian por el tiempo de maduración de su fruto: Catuaí rojo y Catuaí amarillo (Velásquez, 2017).

En esta variedad el germoplasma que se identifica como Catuaí amarillo UFV 2237-377, es considerado promisorio para algunas zonas cafetaleras del Ecuador debido a que presenta un gran potencial en rendimiento y calidad (Galarza & Ayón, 2024). A pesar de tener una gran susceptibilidad a la roya y requerir cuidados nutricionales elevados ha tenido gran acogida en Centroamérica, su tiempo de maduración promedio permite que su cosecha se realice dentro de 3 años aproximadamente después de su plantación en el campo (Morán & Jiménez, 2023).

Las plantas de esta variedad son vigorosas y presentan una altura media de 2,0 a 3,0 m y con diámetro de copa de 1,80 a 2,00 m, aunque las dimensiones pueden ser mayores en algunos lugares. Las hojas nuevas tienen un color verde claro y las adultas son verde oscuras y brillantes (Julca et al., 2023). Su calidad en bebida es excelente, tiene una participación del cultivar Bourbon Rojo en su formación del 75 % (Consejo Salvadoreño del Café (CSC) et al., 2020).

1.2.3 Acawa

1.2.3.1 Generalidades

La variedad Acawa, se origina del cruce Mundo Novo IAC 388 -17 y Sarchimor IAC 1668, se caracteriza por su alta resistencia a la sequía y a la roya (*Hemileia vastatrix*), es tolerante a los nematodos; su bebida es de buena calidad y ciclo de madurez es tardío, tiene una vida útil de 40 años, pero esto depende de su manejo agromorfológico, su producción es alta y a los 3 años ya posee una estabilidad a nivel de producción por hectárea (MAG,2022; Jijón, 2018).

Es una semilla con características organolépticas y altamente productiva, con un manejo técnico eficiente, tienen una productividad promedio cien quintales por hectárea al año, en Ecuador se estima tener un rendimiento de 40 quintales por hectárea. Estas variedades esta destinadas a sembrarse en zonas cafetaleras que se ubican en altitudes de entre 300 y 1.200 m.s.n.m (Pita, 2021).

La planta de la variedad Acawa tiene mayor altura y diámetro del tallo, y la longitud de la raíz se mostró de 18,95 y 18,78 cm cada uno. La semilla de Acawa es considerada de alta productividad, presentando atributos organolépticos que la hacen resistentes a largos períodos de sequía y hongos como el *Hemileia vastatrix*. Además, cuando reciben un buen manejo técnico, alcanza un promedio de 100 quintales por hectárea al año (Asociación Nacional del Café, Anacafé, 2016)

1.3 Proceso de tueste de café

El proceso de tueste es una etapa importante en la producción de café, en este proceso los granos verdes de café se someten a altas temperaturas controladas, para que se puedan desarrollar sus características de sabor, aroma y color, además de cambios químicos y físicos que afectan su perfil de sabor final, como pérdida del agua, polisacáridos, proteínas, trigonelina y ácidos clorogénicos; degradación completa de sacarosa, los azúcares reductores, los ácidos y las cenizas aumentan; las melanoidinas se crean, mientras que los lípidos y la cafeína se mantienen casi en la misma concentración (Puerta, 2013; De Luca et al., 2016)

El tiempo y la temperatura de tueste deben ser controlados para poder lograr resultados específicos como: tuestes claros con sabor más ácido y suave hasta tuestes oscuros con sabor más intenso y amargo (Díaz et al., 2018). La temperatura es un factor muy importante para tener en cuenta, ya que un aumento inesperado puede acelerar la velocidad de tostado, y una disminución alarga el tiempo de calentamiento, sin que se llegue al grado de tostado que se espera (Acuña, et al, 2020). El tiempo se relaciona directamente con el color y aspecto del grano tostado, entre más prolongado este factor más oscuro será el grano, un tostado rápido puede llevar a que se tenga un café con sabor a nuez y poco cuerpo, debido a que los aceites no se liberarán por completo (Barrantes, 2019). Para este proceso estos dos factores van de la mano y por lo general se lo realiza en 10 a 20 minutos y temperaturas que oscilan de 150 a 200 °C (De Luca et al., 2016).

1.3.1 Tueste Nivel claro

Estos granos en tueste claro presentan características como un sabor más intenso y una mayor acidez en comparación con los tostados oscuros, permitiendo que las cualidades del grano se mantengan. Este tipo de tueste se suele realizar con granos de mayor calidad, para poder resaltar el sabor real del grano (Osorio et al., 2021).

1.3.2 Tueste nivel medio

El tueste medio presenta poseen mejores atributos en aroma, ya que son más pronunciados, afrutados, cítricos, en cuanto su acidez deja un agradable cítrico, y liberan menos CO₂. No contiene aceite en su superficie. Conserva su contenido de cafeína y el color del grano es poco más oscuro comparado al grano claro (Barrantes, 2019).

1.3.3 Tueste nivel oscuro

En este tipo de tueste los granos contienen menos cantidad cafeína y acidez en comparación con los granos más claros. Sin embargo, estos presentan un menor período de conservación debido a que existe mayor cantidad de aceites en la superficie. Presentan un sabor ahumado, quemado y penetrante, que oculta el verdadero sabor del grano (Osorio et al., 2021).

1.3.4 Composición química del café después del tostado

En el proceso de tueste se generan varias reacciones químicas y físicas del grano de café, entre ellas el color de los granos va cambiando acorde aumenta la temperatura, hasta el nivel de tueste final, además que el nivel de reflectancia de luz se releja más en granos ligeramente tostados en comparación a cafés negros o muy tostados (Kulapichitr et al., 2022), en este proceso los granos se deshidratan y la humedad del grano de 10-12% se evapora por el aumento progresivo de la temperatura, la humedad los granos de café tostado finalmente se encuentra entre 2 a 3%, en cuanto a pérdida de materia seca para cafés tostados ligeramente están entre el 2-5% y para cafés oscuros entre 11-16% (Osorio et al., 2021).

Entre los cambios químicos la sacarosa que se encuentra presente en el grano de café se descompone hasta llegar a concentraciones del 0,4 % al 2,8% (Portillo & Arévalo, 2022), en cuanto a la cafeína a pesar de ser estable en este proceso, una parte pequeña disminuye por sublimación, y la trigonelina se descompone hasta un 50% durante la torrefacción para un tostado claro y trazas para un tueste oscuro (Budryn et al., 2015). Los ácidos clorogénicos, en este proceso se degradan relacionada con formación de nuevos antioxidantes como producto de la reacción de Maillard, los cafés tostados ligeramente posean mayor poder antioxidantes en comparación a los que tuvieron un tueste medio u oscuros (Pinheiro et al., 2021). El contenido de lípidos en el grano se encuentra ente el 7% al 17%, aunque esta no se ve afectada por el proceso de tueste, lo que se puede generar es un aumento por la pérdida de la humedad relativa en el café (Villarreal et al., 2012).

1.4 Métodos de determinación de propiedades físicas

1.4.1 Método CIELAB

El método CIELAB está basado en respuestas de patrones estandarizados a un estímulo luminoso, este sistema trata de imitar la respuesta promedio de un ser humano a las longitudes de onda de la luz y como persona promedio mira el color por medio del espectro visible. En este método, el espacio del color se representa en sistema cartesiano coordinado que se define por 3 coordenadas rectangulares con magnitudes adimensionales, el eje vertical (L^*) representa la luminosidad de un color que varía de 0 para negro y 100 para un blanco, y dos 2 ejes horizontales (a^* y b^*), donde el eje a^* identifica una medida del color verde o rojo, cuando un color tiende a rojo a^* es positivo, y cuando tiende a verde a^* es negativo, y el eje b^* es perpendicular al eje a^* este identifica al color azul o amarillo, los valores positivos de b^* indican el color amarillo y el los valores negativos b^* al azul, C^* es el croma o saturación, este color es la distancia desde la luminosidad (L^*) e inicia a 0 desde el centro, y h^* el Angulo de matiz empieza en el eje $+a^*$, y se lo expresa en grados, ejemplo 0° es a^+ , 0 rojo y 90° es b^+ , o amarillo, se lo

calcula mediante ecuaciones C* Ecuación 1 y H* Ecuación 2 (Talens, 2017; Carvajal et al., 2011).

$$Cr^* = (a^2 + b^2)$$

$$Cr^* = a^2 + b^2 \quad \text{Ecu. 1.}$$

$$Hue^* = [\arctan(b/a)] \cdot (180/\pi) \quad Hue^* = \arctan(b/a) \cdot 180 \quad \text{Ecu. 2}$$

Donde:

- a^* = Punto de color - a^* verde, + a^* rojo.
- b^* = Punto de color - b^* azul, + b^* amarillo.
- Cr^* = Saturación o dominio de la tonalidad.
- Hue^* = Ángulo de color; 0° rojo, 90° amarillo, 180° verde y 270° azul.

1.5 Métodos de determinación de compuestos químicos

1.5.1 Método Aw

El LabSwift-aw se utiliza principalmente para la medición de la actividad de agua (Aw) en nuestras alimentarias, este equipo tiene integrado en su sensor de Aw, ensamblajes modulares que se combinan con tecnología especial de Novasina, que es la medición electrolítica resistiva, lo que nos permite tener una medición precisa de la Aw porque capta la interacción que se da entre el vapor de agua del producto y el entorno del sensor (NOVASINA, 2021)

1.5.2 Método de Folin-Ciocalteu

Este ensayo se utiliza para determinar el contenido total de compuestos fenólicos en distintos productos naturales, a lo largo de muchos años (Rioja et al., 2018). Su mecanismo es una reacción de oxidación/reducción que involucra tanto compuestos fenólicos como no fenólicos. Se basa en la reacción de compuestos fenólicos de fácil oxidación o compuestos aromáticos hidroxilados con el ácido fosfotúngstico y fosfomolibdico del reactivo Folin-Ciocalteu, a pH básico, que da como resultado una coloración azul que es

susceptible a ser leída espectrofotométricamente a 765 nm (Magalhães et al., 2010; Zhang et al., 2006).

1.5.3 Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazilo)

Este método se basa en medir de la capacidad de reducción de antioxidantes frente al radical DPPH. La cual puede ser estudiada por resonancia espín-electrón o por medio de espectrofotometría (Prior et al., 2005).

El DPPH no requiere ser generado previamente, ya que es un radical orgánico con estructura nitrogenada, de color púrpura fuerte y muy estable (Rodríguez Aguirre et al., 2015). Se puede generar fácilmente una reacción del radical libre al mezclarse con compuestos antioxidantes, por medio de la cesión de un átomo de hidrógeno proveniente del antioxidante (Guija-Poma et al., 2015), que da como resultado una degradación del color púrpura y una solución en estado reducido (Kedare & Singh, 2011).

El 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), es un radical que se ha utilizado mayoritariamente en estudios cinéticos, debido a que presenta varias ventajas como disponibilidad en el mercado, estabilidad, selectividad hacia los antioxidantes antirradicales, alta reproductibilidad de resultados, absorción en el espectro UV-visible a 520 nm, sensibilidad y disponibilidad del equipo necesario (Volkov & Misin, 2015; Foti et al., 2011).

1.5.4 Método FRAP (Poder antioxidante de la reducción férrica)

Este método se basa en la capacidad reductora a bajo pH, de un complejo incoloro del ion férrico + TPTZ ($\text{Fe}^3 + \text{tripiridiltriazina}$) a un complejo azulado de ion ferroso + TPTZ ($\text{Fe}^2 + \text{tripiridiltriazina}$), a causa de la cesión de electrones por parte de antioxidantes. Esta reducción se controla con la medición del cambio de absorbancia en las mezclas de prueba con antioxidantes, a una longitud de onda de 593 nm (Dudonné et al., 2009).

1.5.5 Método de Cafeína

Este método se basa en la cuantificación de cafeína mediante extracción sólido-líquido y líquido-líquido, y cuantificado por espectrofotometría a 273 nm, mediante un espectrofotómetro UV-Visible (Evolution 201 Thermo Scientific). Empleando de

referencia la NTE INEN 1081, que determina cafeína en bebidas gaseosas por espectrofotometría, norma que se puede adaptar en análisis de café (García et al., 2018).

1.5.6 Método de extracción de grasa

Este método se lo realiza por extracción de solventes donde se utiliza sistema de extracción Soxhlet, que es el método más empleado para extraer grasas de muestras sólidas, donde el contacto entre el café tostado y el solvente es íntimo y dura un tiempo específico. La metodología para realizar la extracción se basa en la separación sólido-líquido en continuo, utilizando un disolvente adecuado. Posterior a esto el solvente es eliminado mediante evaporación en un roto evaporador y dejando un residual final que es pesado y analizado. El resultado que se obtiene representa el contenido de sustancias que se extraen, que mayoritariamente están compuestas por grasas, aunque también pueden existir otras sustancias como pigmentos y las vitaminas liposolubles cuando se trata de alimentos. Se utiliza la Ecuación 3. para calcula el porcentaje de grasa final (López & Castaño, 1999) (Cela et al., 2003).

$$G(\%) = \frac{m_2 - m_1}{M} \times 100 \quad \text{Ecu. 3}$$

Donde:

- **M:** masa de la muestra (g)
- **m₁:** masa del matraz de fondo redondo vacío (g)
- **m₂:** masa del matraz de fondo redondo con grasa (g)

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación de la investigación

Esta investigación se realizó conjuntamente en el laboratorio de investigación de la carrera de Ingeniería en Alimentos y el laboratorio de Fitoquímica de la carrera de Bioquímica y Farmacia, en la Universidad Técnica de Machala.

2.2 Materia prima

Los granos frescos de café corresponden a las variedades (*sarchimor rojo*, *catuai amarillo* y *acawa*) y se recogieron manualmente en los cafetales del Cantón Las Lajas, que se encuentra ubicado en una altitud media de 400 m.s.n.m. La recolección se realizó en el mes de Julio cuando los granos se encontraban en nivel de maduración organoléptica (cereza roja).

2.3 Preparación de la muestra

Los granos frescos fueron lavados con un desinfectante comercial y despulpados en una despulpadora de fabricación nacional en la finca de recolección, los granos se almacenaron y transportaron manteniendo la cadena de frío hasta ser procesados en el laboratorio de investigación área de alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Una vez en el laboratorio los granos se lavaron con abundante agua para eliminar residuos de mucílago y se secaron en una estufa MEMMERT UF 55 con recirculación de aire forzado al 100% y a temperatura de $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$ con trampilla abierta (100%), por un tiempo aproximado de 24 horas. Los granos secos fueron descascarillados manualmente para luego seleccionar los granos eliminando granos partidos, brocados o con algún daño que pudiese afectar la calidad de la taza.

Los granos en sus tres variedades (*sarchimor rojo*, *catuai amarillo* y *acawa*) se tostaron por separado, con diferentes niveles de tueste claro, medio y oscuro con tiempos de 20, 30 y 45 minutos respectivamente, tiempo que se tomó desde que el tostador llegó a una temperatura de $200 \pm 5^{\circ}\text{C}$, siempre teniendo en cuenta que la temperatura no sobrepase los 250 a 300°C , luego se dejaron enfriar las muestras y se molieron en un

molino (ELECTRIC GRINDER). El café molido finalmente fue envasado en bolsas plásticas de cierre hermético etiquetadas correctamente y se almacenaron a temperatura ambiente protegidas de la luz.

2.4 Determinación parámetros físicos

2.4.1 Color

El color del café tostado, se midió utilizando un colorímetro triestímulo (CR-400, Konica Minolta, 2022) previamente calibrado. Las mediciones se realizaron por duplicado en recipientes de plásticos transparentes para garantizar uniformidad. Los valores se midieron utilizando el sistema de coordenadas de color CIE L* a* b*, en donde L* representará la luminosidad (0-oscurito, 100-claro), a*, b* (unidades de escala) y se definirán los valores de croma y el ángulo Hue* usando las ecuaciones 2 y 3 (Talens, 2017).

2.5 Determinación de parámetros químicos

2.5.1 Actividad de Agua (A_w)

Las mediciones del café molido se realizarán basadas en el método AOAC 978.18, con una escala de 0-1 (0=nada de agua disponible y 1= máxima cantidad de agua disponible para reacciones bioquímicas) a una temperatura controlada de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ utilizando un equipo LabSwift-aw (Novasina)

2.5.2 Preparación de muestra de café tostado

En todas las muestras se pesaron 5 g de cada variedad de café y se colocaron en un vaso de precipitación, se añadió 40 ml de solución hidroalcohólica y se mezcló hasta humedecer la muestra. Seguidamente se traspasaron matraces Erlenmeyer y se llevó a baño ultrasónico (ULTRASONIC BATH 5.7 L, Fischer Scientific) por media hora, finalmente se filtró obteniendo la muestra líquida.

Se colocaron en balones de 500 mL, para ser concentrados en un roto evaporador (HEIDOLPH LABOROTA 4001), acoplado a un criostato (LAUDA/ALPHA RA-8) y a una bomba de vacío (VACUUBRAND PC 600, Alemania). Estos extractos concentrados, fueron trasvasados a cajas de Petri y finalmente se secaron en una estufa (MEMMERT UF 55, Alemania) con circulación de aire del 100% y trampilla abierta (100%). Los extractos secos (ES) fueron almacenados a temperatura de refrigeración y protegidos de la luz, hasta ser evaluados posteriormente.

2.5.3 Determinación de fenoles totales por método de Folin-Ciocalteu

Preparación de muestra: Se pesó 0,2 g de muestra en un vaso de precipitación de 50 mL, se agregó 10 ml de disolución hidroalcohólica y se llevó a sonicación hasta solubilizar la muestra completamente, luego se trasvasó a un balón volumétrico de 25 mL y se enrasó con solución hidroalcohólica.

Por concentración y con la finalidad de que las lecturas de absorbancia de la muestra se puedan ajustar a la curva de calibración; se realizó una dilución 1:40 y se coloca en un tubo de ensayo 200 μ L de extracto, en 7800 μ L de solución hidroalcohólica. A partir de esta dilución se realizó el ensayo.

Preparación de reactivos:

Solución de Folin-Ciocalteu (10%): Se tomó 10 mL del reactivo y se diluyó con 100 mL de agua destilada.

Solución de carbonato de sodio (7,5%): Se pesa 7,5 g de Na₂CO₃ anhidro y se disuelve en 100 mL de agua destilada.

Ensayo: Se utilizó el reactivo Folin-Ciocalteu con la metodología expuesta por Singleton et al., (1999) con ciertas modificaciones. En tubos de ensayo de aproximadamente 10 mL se adicionó: 50 μ L de la muestra que se preparó previamente, agua destilada (blanco) o de ácido gálico (patrón), se añadió 2,5 mL de reactivo Folin

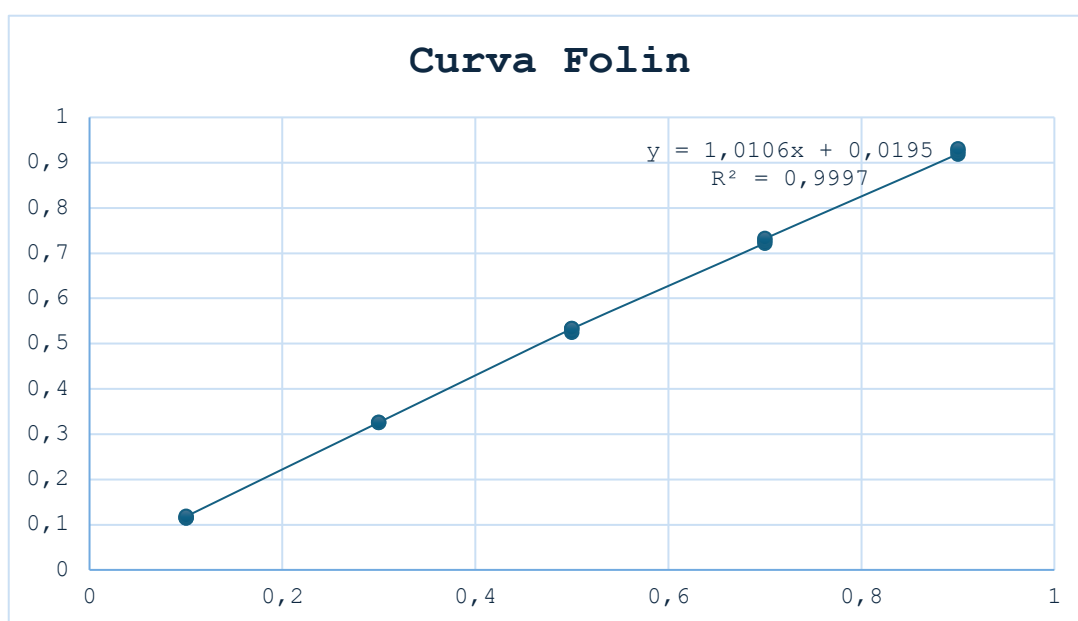
Ciocalteu (Sigma Aldrich) al 10% y 450 μ L de agua destilada. Se agita todos los tubos por medio de un vortex (Thermo Scientific, USA) y se dejaron en reposo por 5 minutos.

Seguido, se adicionó 2 mL de Na₂CO₃ al 7,5% y se agita nuevamente en un vortex y se deja reposar durante 2 horas, para realizar la lectura. Se utilizaron micro celdas de 2 mL y se midió la absorbancia de las muestras a una longitud de 765 nm en un espectrofotómetro (UV-Visible SPECTROPHOTOMETER Evolution 201 Thermo Scientific, USA).

Para la cuantificación de contenido fenólico total, se realizó una curva de calibración de una disolución patrón de ácido gálico 10 mg/mL (Sigma Aldrich) en concentraciones de: 0,1 a 0,9 mg/mL. El contenido fenólico total se determinó partiendo de la curva de calibración por medio de un análisis de regresión lineal, obteniendo la siguiente ecuación:

Absorbancia = $0,0195 + 1,0106 \cdot \text{concentración (mg/mL)}$ con un coeficiente de correlación (R²) de 0,9997

Figura 1. Curva de calibración para la cuantificación de fenoles totales



Fuente: (Singleton et al., 1999)

2.5.4 Determinación de la capacidad secuestradora de radicales libres frente al 2,2-difenilpicrilhidrazilo (DPPH-TEAC).

Preparación de muestra: Se pesó 0,2 g de muestra en un vaso de precipitación de 50 mL, se agregó 10 ml de disolución hidroalcohólica y se llevó a sonicación hasta solubilizar la muestra completamente, luego se trasvasó a un balón volumétrico de 25 mL y se enrasó con solución hidroalcohólica.

Por concentración y con la finalidad de que las lecturas de absorbancia de la muestra se puedan ajustar a la curva de calibración; se realizó una dilución 1:40 y se coloca en un tubo de ensayo 200 μ L de extracto, en 7800 μ L de solución hidroalcohólica. A partir de esta dilución se realizó el ensayo.

Preparación de disolución del DPPH a 0,1 mM: Del reactivo 2,2-difenilpicrilhidrazil se pesó 0,0039 g, luego se llevó a un balón volumétrico de 100 mL y se aforo con etanol absoluto (80%).

Ensayo: En esta determinación se utilizó el método de Brand-Williams et al., (1995) con ciertas modificaciones. En tubos de ensayo se mezcló 500 μ L de extracto (por cada tratamiento) con 1,5 mL de la disolución DPPH al 0,1 mM . Las disoluciones preparadas se sometieron a agitación en vortex (Thermo Scientific, USA) e inmediatamente se guardaron protegidas de la luz y a temperatura ambiente durante 30 minutos.

Las lecturas se realizaron en microceldas de 2 mL empleando solución hidroalcohólica como blanco, en un espectrofotómetro (UV-Visible SPECTROPHOTOMETER Evolution 201 Thermo Scientific, USA) a una longitud de onda de 517 nm.

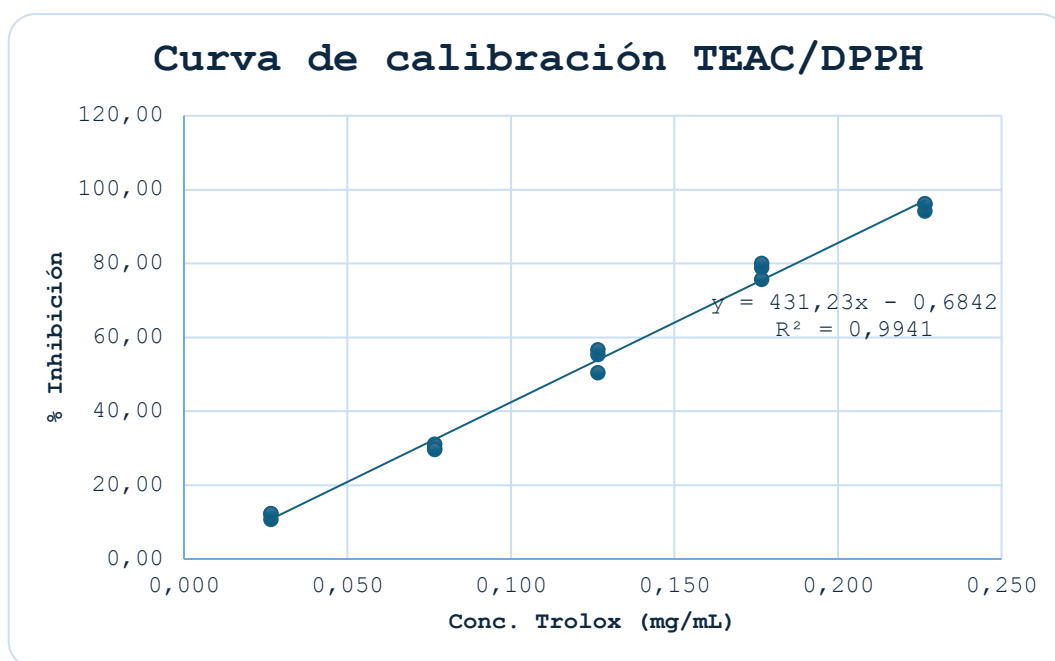
Para determinar la capacidad antioxidante, se realizó mediante una curva de calibración de la solución patrón de Trolox (0,2 mg/mL) en concentraciones de: 0,027 a 0,227 mg/mL

La cuantificación de la capacidad antioxidante expresada en miligramos equivalentes a Trolox, se obtuvo a partir de la ecuación obtenida del análisis de regresión lineal de la curva de calibración.

$$\% \text{Inh} = 431,23 * \text{concentración (mg/mL)} - 0,6842$$

Coefficiente de correlación (R²) de 0,9941

Figura 2. Curva de calibración para la cuantificación de capacidad antioxidante para ensayo DPPH



Fuente: (Brand-Williams et al., 1995)

2.5.5 Determinación del poder antioxidante de la reducción férrica (FRAP-TEAC)

Preparación de muestra: Se pesó 0,2 g de muestra en un vaso de precipitación de 50 mL, se agregó 10 ml de disolución hidroalcohólica y se llevó a sonicación hasta solubilizar la muestra completamente, luego se trasvasó a un balón volumétrico de 25 mL y se enrasó con solución hidroalcohólica.

Por concentración y con la finalidad de que las lecturas de absorbancia de la muestra se puedan ajustar a la curva de calibración; se realizó una dilución 1:40 y se coloca en un tubo de ensayo 200 μ L de extracto, en 7800 μ L de solución hidroalcohólica. A partir de esta dilución se realizó el ensayo.

Preparación de reactivos:

Solución buffer de acetato 300 mM (pH 3,6): En agua se disolver, 3,1 g de acetato de sodio trihidratado ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), posterior se adiciona 16 mL de ácido acético glacial y se completa el volumen hasta un litro con agua destilada. Se comprueba el pH final y si es necesario se ajusta (3,6).

Solución de HCl 40 mM: En 1 L de agua destilada se añadió aproximadamente 3,3 mL de HCl concentrado.

Solución 10 mM de TPTZ (2,4,6-tripiridyl – s-triazine) en HCl 40 mM: Un 1 L de HCl 40 mM para 3,12 g de TPTZ.

Solución de FeCl_3 20mM: En 100 mL de agua destilada se disuelve 0,324 g de FeCl_3 anhidrido

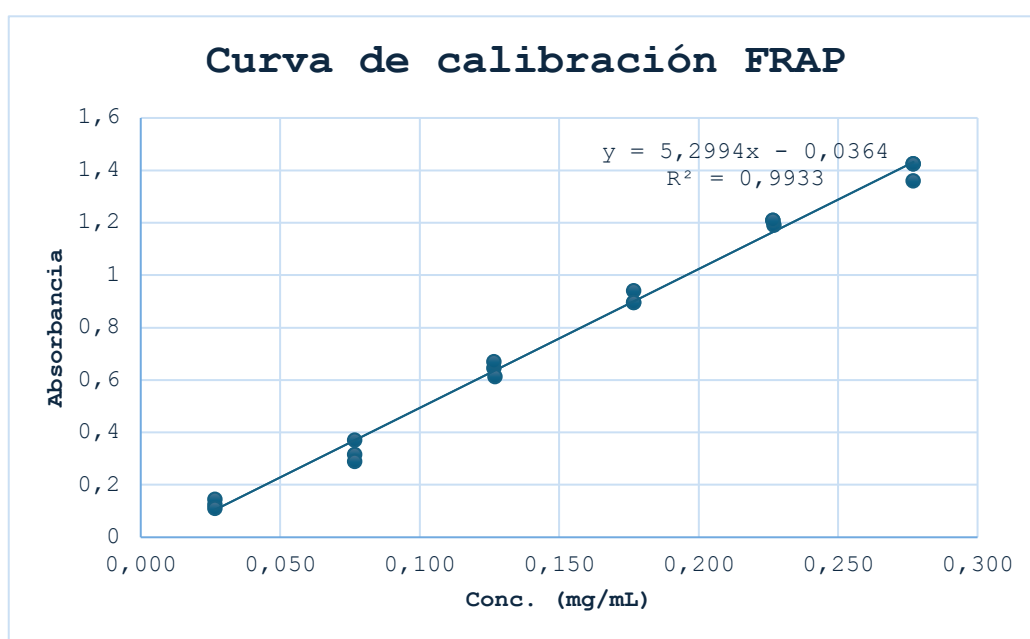
Solución de reactivo FRAP: En un vaso de precipitación se prepara mezclando: 25 mL de solución buffer de acetato, 2,5 mL de solución TPTZ 10 mM y por finalmente 2,5 mL de solución FeCl_3 20 mM. Esta mezcla se incubó por 30 minutos a 37 °C.

Ensayo: Se llevó acabo basándose a los métodos descritos por Benzie & Straint, (1996). De la muestra preparada se toma 50 μ L y se coloca en tubos de ensayo de 10 mL, luego se añade 1,5 mL de reactivo FRAP, se lleva a agitación en vortex y se esperó 5 minutos, se toma la lectura utilizando microceldas de 2 mL en un espectrómetro espectrofotómetro (UV-Visible SPECTROPHOTOMETER Evolution 201 Thermo Scientific, USA) a una longitud de onda de 593 nm. Como blanco se utilizó la disolución FRAP.

Se preparó una solución patrón de Trolox (0,2 mg/mL), y a partir de esta se prepararon soluciones con concentraciones de 0,025 a 0,175 mg/mL. Todas las mediciones se efectuaron por triplicado.

El poder antioxidante se determinó a partir de la curva de calibración que se realizó para la solución patrón de Trolox por medio de un análisis de regresión lineal, obteniendo la siguiente ecuación: Absorbancia = - 0,0364 +5,2994* concentración (mg/mL) con un coeficiente de correlación (R²) de 0,9933.

Figura 3. Curva de calibración de la capacidad antioxidante para ensayo FRAP



Fuente: (Benzie & Straint, 1996)

2.5.6 Determinación de Cafeína

Preparación de la muestra: Se pesó 2 gramos de muestra y se lleva a ebullición a reflujo con 100 mL de agua destilada durante 15 minutos.

Ensayo: La curva de calibración se la realizó en base a una disolución madre de cafeína de 0.4 mg/mL. Luego en un rango de 1 a 16 µg/mL las disoluciones fueron preparadas, para ser leídas en 273 nm es espectrofotómetro UV-Visible (UV-Visiblem) SPECTROPHOTOMETER Evolution 201 Thermo Scientific, USA), en celdas de cuarzo

con medidas de 1 cm x 4 mL. La cuantificación de cafeína se la trabajo mediante una extracción solido-liquido, donde se preparó principalmente un extracto acuoso que al momento del filtrado fue mezclado con 10 mL de NaOH al 5% en agua. Esta muestra se transfirió a embudos separadores donde se mezcló con cloroformo (CHCl₃) agitando en forma de 8 durante unos minutos, repitiendo esta acción tres veces. Cuando las fases se separan, la parte acuosa se descarta y la fase orgánica se lleva a sequedad en un roto evaporador (HEIDOLPH LABOROTA 4001 Efficient) con un criostato acoplado (LAUDA/ALPHA RA-8) y una bomba de vacío (VACUUBRAND PC 600).

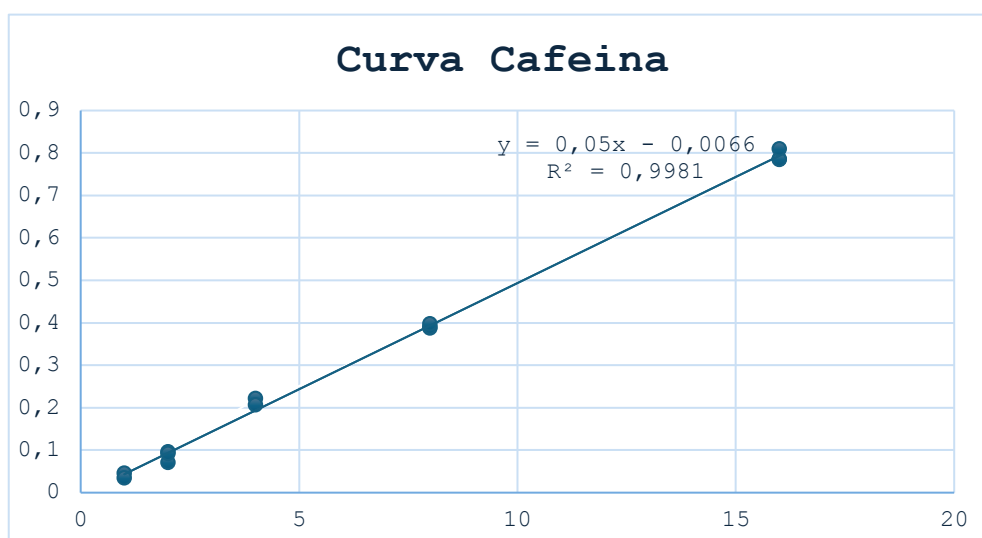
El residuo que se obtuvo se mezcló con CH₃OH de calidad analítica para trasvasarse en un balón volumétrico de 25 mL, luego se volvió a diluir en 4 ug/ml de nuestra en 10 ug/ml de metanol por motivos de concentración y que se pueda ajustar a la curva de calibración, esto se llevó a medición a 273 nm.

Se mezcló el residuo obtenido se mezcló con CH₃OH de calidad analítica para ser transferido a un balón volumétrico de 25 mL y la absorbancia de la disolución obtenida se debe medio a 273 nm. La concentración de cafeína se determinó mediante una ecuación de regresión lineal obtenida de la curva de calibración, previamente elaborada con el estándar de cafeína.

El análisis de regresión lineal demostró una correlación lineal positiva con R² de 0,9981

$$\text{Absorbancia} = 0,05 \times \text{Conc. (mg/mL)} - 0,0066$$

Figura 4. Curva de calibración de contenido de cafeína.



2.5.7 Determinación de grasa

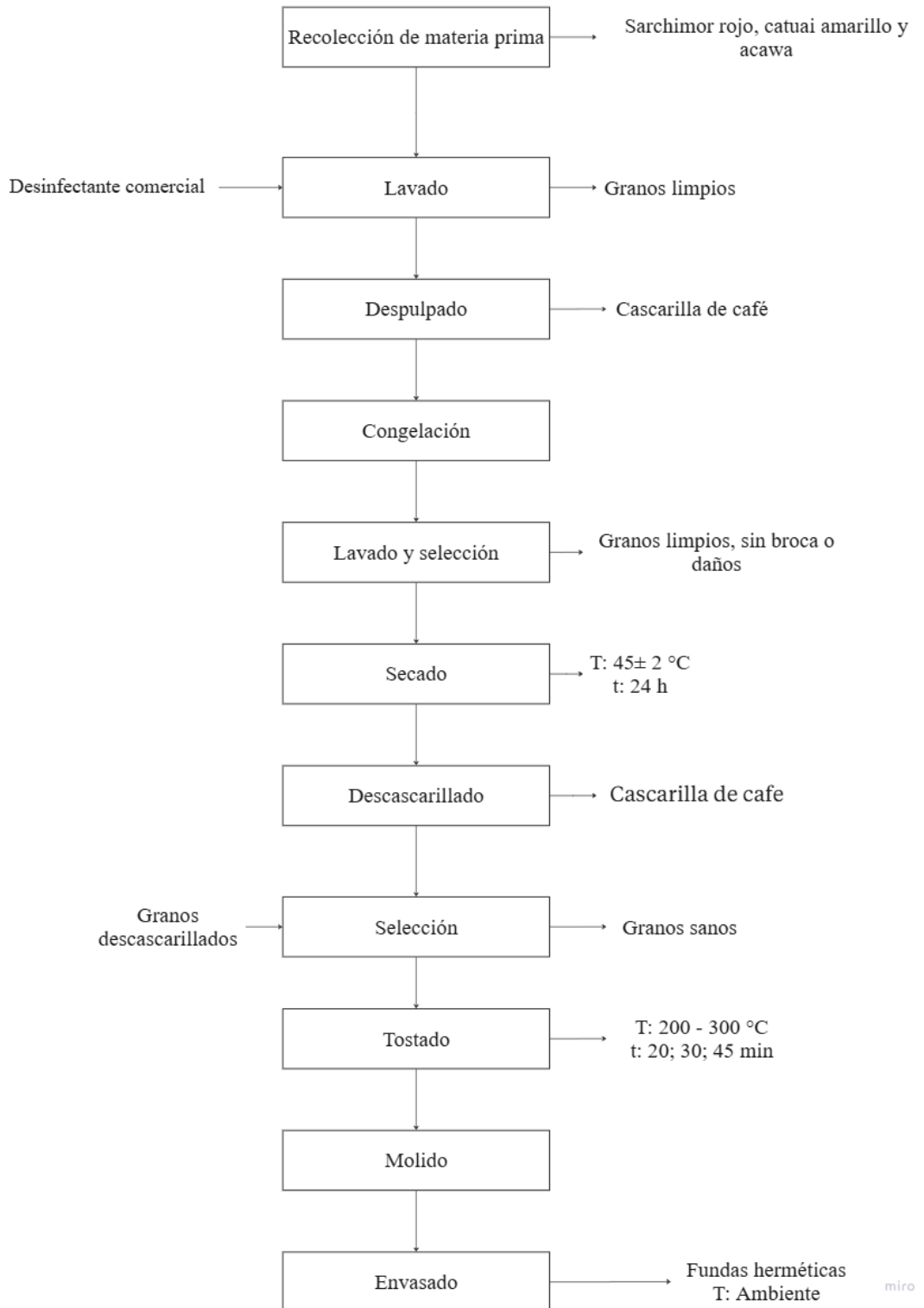
Preparación de la muestra: Se pesó 2 gramos de muestra en un cartucho de extracción hecho de papel filtro, luego de ser cerrada con grapas metálicas, se coloca en la cámara de extracción del dispositivo Soxhlet, con 200 mL de hexano.

Ensayo:

Se registra la masa de los balones, se coloca 200 ml de hexano recuperado y se termina de montar el equipo, colocando cocinetas para que se puede producir la ebullición, se cuenta la primer sifonada, cuando el disolvente alcanza el nivel del tubo que permite el reflujo hacia el matraz de fondo redondo, se continua el proceso por 4 horas, se espera que se enfrié y se lleva a roto evaporación hasta extraer todo el solvente de la muestra de grasa obtenida, luego se pesa el balón con la muestra y se aplica la Ecuación 3. para conocer el porcentaje de grasa final (Cela et al., 2003).

2.6 Preparación de los granos y su tueste

Ilustración 1. Diagrama de Flujo



- **Recolección de materia prima:** Se seleccionan los granos de café directamente de las plantas de las variedades Sarchimor rojo, Catuai amarillo y Acawa, asegurándose de que estén en su punto óptimo de madurez.
- **Lavado:** Los granos recolectados son lavados para eliminar impurezas como polvo, tierra y restos de hojas. Al final de esta etapa se obtienen granos limpios.
- **Despulpa:** Se retira la pulpa de los granos para separarlos de la cáscara externa. Se genera un subproducto: la cascarilla de café.
- **Congelación:** Los granos pasan por un proceso de congelación para preservar su frescura y calidad.
- **Lavado y selección:** Los granos congelados son lavados nuevamente y seleccionados manual para asegurarse de que solo los granos en perfecto estado (sin broca o daños) pasen a las etapas siguientes.
- **Secado:** Los granos seleccionados son secados bajo condiciones controladas a una temperatura de 60 °C durante 24 horas, lo que asegura que se reduzca la humedad a niveles óptimos.
- **Selección:** Los granos secos se someten a una nueva selección para garantizar que los que lleguen a las etapas finales sean de la mejor calidad.
- **Descascarillado:** En esta etapa se retira la cascarilla seca de los granos, dejando al descubierto la semilla de café.
- **Tostado:** Los granos descascarillados son tostados a temperaturas entre 200 y 250 °C durante diferentes periodos (20, 30 y 45 minutos), lo que permite desarrollar los perfiles de sabor y aroma característicos de cada nivel de tueste.
- **Molido:** Los granos tostados son molidos.
- **Envasado:** El café molido se envasa en fundas herméticas para preservar su frescura. El almacenamiento se realiza a temperatura ambiente hasta su respectivo uso en análisis.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación de Aw

La humedad residual y la actividad de agua (Aw) son parámetros críticos que influyen sobre la conservación del café, durante su almacenamiento y transporte, una humedad residual superior al 12,5 % y una Aw mayor a 0,7 podría provocar el deterioro del grano al no asegurar la estabilidad microbiológica, la calidad sensorial ni la prevención de la oxidación de los compuestos volátiles del café los cuales son responsables de su aroma y sabor (Osorio et al., 2024; Puerta, 2006).

El ANOVA realizado a la Aw arrojó como resultado que existe diferencias significativas (p -valor $< 0,05$) entre las medias de todos los grupos con un nivel de confianza del 95%. A continuación en la Tabla 3. se pueden observar los resultados de la pruebas pos hoc (Tukey) realizada a los valores de Aw de las muestras, considerando la interacción entre tres niveles de tuestes de café (claro, medio, oscuro) y las variedades de café arábica (Acawa, Sarchimor y Catuai Amarillo). Tal como se distingue en esta tabla no existe diferencia significativa entre las medias de Aw para los niveles medio y oscuro, pero si al comparar las medias entre claro y medio y claro y oscuro, este ocurre en todas las variedades estudiadas, lo que indica que la actividad de agua se ve disminuida a partir del nivel de tueste oscuro.

Tabla 3. Determinación de Aw en tres variedades de café.

Tueste	Variedad	Contenido de Aw %
Claro	Sarchimor R	0,29 ^e
Medio	Sarchimor R	0,23 ^c
Oscuro	Sarchimor R	0,23 ^c
Claro	Acawa	0,32 ^f
Medio	Acawa	0,27 ^d
Oscuro	Acawa	0,26 ^{d,e}
Claro	Catuai A	0,21 ^b
Medio	Catuai A	0,17 ^a
Oscuro	Catuai A	0,16 ^a

Los valores del contenido de agua en las muestras oscilan entre 0,16 y 0,32 lo que nos indica que el café es estable frente del desarrollo microbiano y conservara su calidad durante el tiempo de almacenamiento. Al estar estos valores por debajo de 0,4, lógicamente la cantidad de agua disponible para que se produzcan reacciones asociadas al deterioro del café es menor (Martínez et al., 2021), comparando nuestras valores con análisis realizado por González et al., (2021) donde reportan valores de 0,48-0,51, se puede concluir que las muestras estudiadas presenta una mejor estabilidad en el grano, aunque lo que podría suceder es que se dé una oxidación de los lípidos, aunque para A_w de alrededor de 0,3 estos efectos transcurren más lento (Cardona, 2019).

Por otro lado al estudiar únicamente la influencia de la variedad sobre el contenido de A_w se logró identificar que Acawa es la de mayor A_w , estos resultados coinciden con estudios anteriores que señalan que existen variedades capaces de retener mayor humedad, por la estructura del grano y su composición física - química (Bertrand et al., 2006). Con respecto al grado de tueste, el tueste claro presentan valores significativamente altos, mientras que los tuestes medio y oscuros presentaron valores más bajo con 0,22 y 0,23, resaltando que el grado de tueste tiene influencia sobre la actividad de agua del café, debido a la pérdida progresiva que se da en el agua durante el proceso de tostado, según Clifford & Wilson (1985) a mayor aplicación de calor se reduce la actividad de agua libre del grano en los tuestes oscuros.

3.2 Determinación de color

El análisis de varianza multivariado (MANOVA) de color indica que existe diferencia estadísticamente significativa (p -valor $< 0,05$) entre las medias de todos los grupos. Siendo los dos factores de estudio y su interacción influyentes sobre la variable respuesta color. La prueba pos hoc (Tukey) demostró que hay diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de tueste para todas variedades, corroborando de esta manera que las muestras analizadas tienen tres grados de tostado distintos, para ello se empleó un nivel de confianza del 95%.

Se utilizan las tablas 4 y 5, para realizar una comparación entre la Escala AGTRON/SCA, clasificación en inglés y el método CIELab, de los niveles de tuestes aplicados al café.

Tabla 4. Perfil de tostado en escala AGTRON/SCA y L*a*b*.

Perfil de Tostado					
Nivel de tueste	Grano	Escala AGTRON/SCA	Valores L*a*b*		
			L*	a*	b*
	Entero	65	42	5	15
Claro- Medio	Molido	50-55	37	5	13
	Entero	55	37	5	13
Oscuro	Molido	45-50	31	4	9
	Entero	45	29	3	8
Oscuro- Medio	Molido	35-40	32	3	8

Fuente: (SCA, 2015)

Tabla 5. Determinación de grado de tueste

Clasificación	Clasificación en inglés	L*	Nombre SCAA Tile #
Muy oscuro	Italian Dark French	13,04	35
Oscuro	French expreso	14,43	35
Moderadamente oscuro	Expreso	15,83	45
Medio oscuro	Vienesse Full City - Light French Expreso	17,22	45
Medio	Medium - Medium high american	18,66	55
Medio claro	Light medium american	21,44	65
Moderadamente claro	Light	29,32	75
Claro	Cinnamon	31,09	85

El valor L* corresponde a la coordenada de luminosidad de la escala CIELAB.

Fuente: NTE INEN 1123

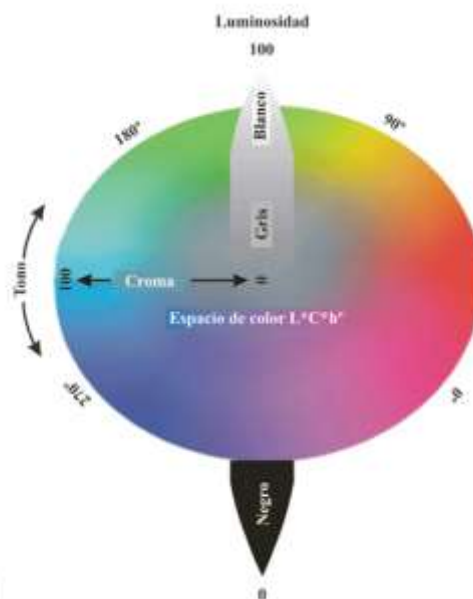
Tabla 6. Parámetros de color de tres variedades de café Sarchirmor Rojo, Acawa y Catuai Amarillo en tres grados de tueste.

Tueste	Variedad	L	a	b	h	C
Claro	Sarchirmor R	23,33	11,78	18,31	57,26	21,77 ^c
Medio	Sarchirmor R	18,38	8,79	11,48	51,50	14,57 ^g
Oscuro	Sarchirmor R	15,22	6,28	7,33	49,43	9,65 ^f
Claro	Acawa	18,74	9,14	11,71	52,04	16,85 ^g
Medio	Acawa	16,41	8,43	10,11	50,17	13,16 ^e
Oscuro	Acawa	12,84	3,27	4,22	52,23	5,34 ^d
Claro	Catuai A	18,94	8,14	8,35	53,11	17,08 ^a
Medio	Catuai A	15,42	6,52	7,90	50,47	10,24 ^f
Oscuro	Catuai A	12,97	3,29	5,36	40,28	6,27 ^b

Tal como puede verse en la tabla 6. los valores de luminosidad (L) disminuyen conforme avanza el nivel de tueste para cada una de las variedades, tendiendo siempre hacia el negro, en este sentido es preciso mencionar que el valor de luminosidad puede ir desde 100 (blancos) hasta 0 (negros) como se observa en la Gráfica 1. Kim et al., (2018), (Konica Minolta, 2022), explica que a medida que los valores se alejen del centro de saturación el color va a ir aumentando, en base a esta escala los valores de L iguales o cercanos a 30 corresponde a grados de tueste ligero (Sousa et al., 2018), el mismo comportamiento se observa en la tabla 3 para la escala AGTRON/SA y tabla 4 establecida por la Norma INEN1123, los valores de L* en normativa INEN1123 van desde 31,09 hasta 13,04 en escala SCAA de 85 a 35, siendo el valor más alto para un claro y el menor para un muy oscuro. Nuestros resultados en L* según la tabla 4. están dentro de un tueste medio claro a muy oscuro y en la escala SCAA de 65 a 35. Según (Parada et al., 2017) sus muestras analizadas arrojaron valores para L* de 18,72 hasta 23,4 en escala CIELab, explicando este comportamiento normal en muestras de café tostadas debido a las altas temperaturas aplicadas para este proceso, (Nakilcioğlu & Ötles, 2019) explica que la degradación de los ácidos clorogénicos tienen una alta correlación con la disminución en la coordenada L* en color, ya que en esta degradación se forman compuestos que forman pigmentos oscuros.

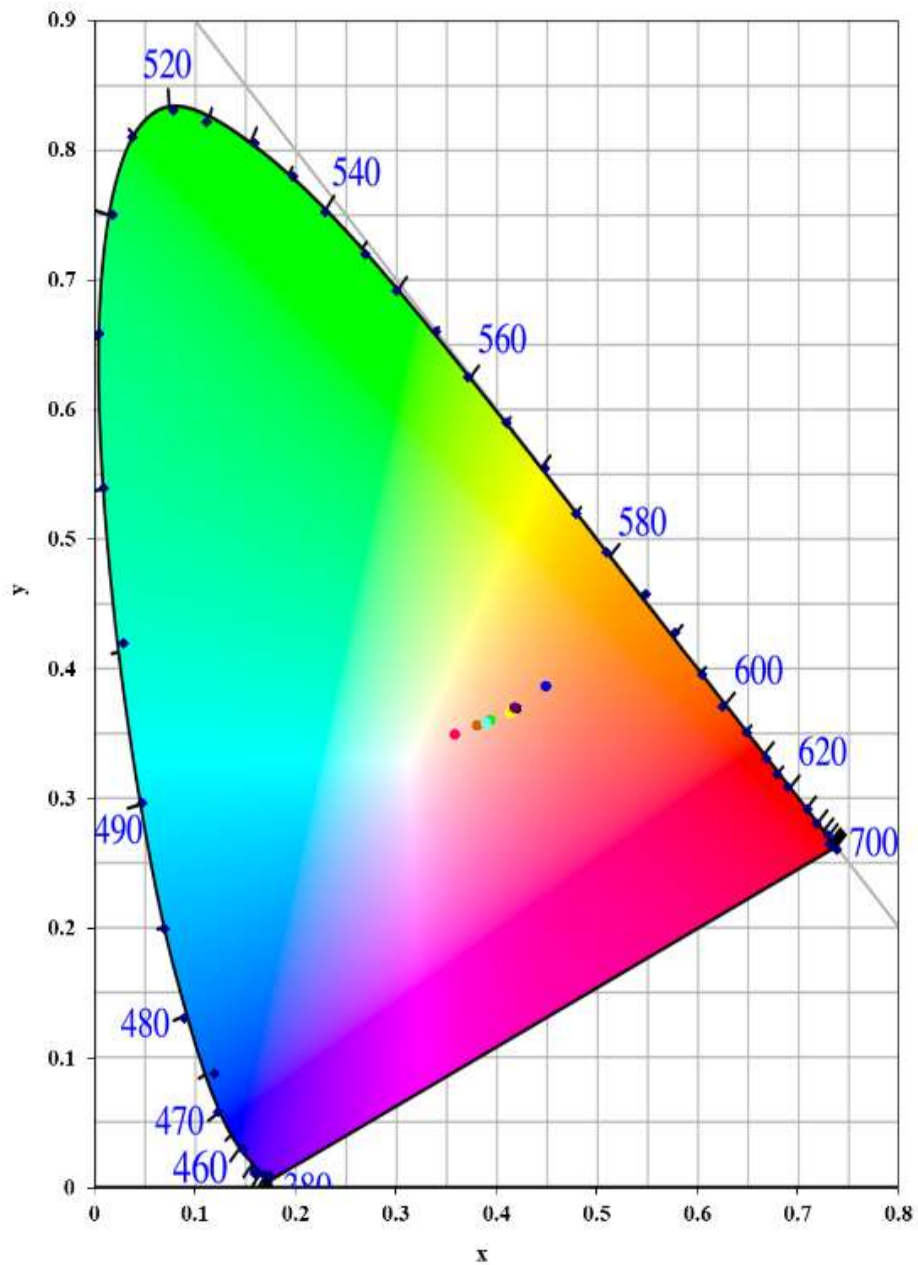
Los valores de a^* y b^* indican que la cromaticidad de todas las muestras estudiadas tienen coordenadas que encuentran en el primer cuadrante. El valor de a^* disminuye conforme avanza e nivel de tueste, el valor más alto para este parámetro es de 11 en granos de tueste claro hasta 3 en el caso de granos con tueste oscuro, en la escala AGTRON/SA, los valores van de 5 a 3 en tueste oscuro escala 45, las variedades Acawa y Catuai Amarillo se encuentran dentro de este nivel de tueste oscuro medio según lo que se puede observar en las tablas analizadas, al contrario del tueste Oscuro en Sarchirmor Rojo que se encuentra en una escala de 50-55 tueste claro- medio. Un comportamiento similar se ve reflejad en los valores del parámetro b^* , en la escala de AGTRON/SA los valores van de 13-8 para los tres niveles de tueste, la variedad Sarchirmor Rojo tueste oscuro se encuentra en la escala 35-40, Acawa en un claro escala 50-55, pero en Catuai Amarillo se observa que el tueste claro está en una escala de 35-40 es decir un oscuro medio, y por lo tanto dado que partir de estos valores numéricos, se obtuvieron las funciones de color “croma” (C^*) y “ángulo de tono” (h), este patrón se repite.

Para la función C^* se obtuvieron valores relativamente bajos que van desde valores cercanos a 20 (tueste claro) hasta valores próximos a 5 (tueste oscuro). A medida que este valor se acerca a cero el color se acerca a los tonos oscuros, esto combinado con el ángulo de tono cercano a los 50 grados, indican la presencia de tonos que van desde el café hasta el negro.



Grafica 1. Representación del espacio cromático cilíndrico CIE-L*a*b*^h

Con la finalidad de representar los datos gráficamente se convirtieron estos valores en coordenadas x-y, lográndose de esta manera representar el color en la **Grafica 2**.



Grafica 2 . Evolución de los parámetros de color del sistema CIExy de tres variedades de café en tres grados de tueste diferentes.

En la Grafica 2, se observa que las muestras de café siguen con comportamiento de más alto el nivel de tueste, el color será más oscuro, es decir menos luminosidad y que los valores a* y b* caen en colores que tienden a colores amarillos y rojos, a pesar de que cada variedad tiene comportamientos distintos esta relación se mantiene. (Mipro & Swisscontact, 2016) señalan que las diferencias en las tonalidades de color se relacionan directamente con el nivel de tueste aplicado, es decir a mayor nivel de tueste más oscuro será, lo que observa en la luminosidad.

3.3 Determinación de fenoles totales

Los resultados que se obtuvieron de la cuantificación de fenoles totales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Cuantificación de fenoles totales.

Tueste	Variedad	Contenido de fenoles total mg EAG /g de muestra
Claro	Sarchirmor R	7,22 ^h
Medio	Sarchirmor R	6,58 ^a
Oscuro	Sarchirmor R	6,13 ^c
Claro	Acawa	7,02 ^g
Medio	Acawa	6,72 ^{d, e}
Oscuro	Acawa	6,39 ^b
Claro	Catuai A	6,86 ^f
Medio	Catuai A	6,84 ^{e, f}
Oscuro	Catuai A	6,64 ^{c, d}

El análisis de varianza (ANOVA) evidencio que los factores variedad y tueste, así como su interacción son estadísticamente influyentes sobre la variable respuesta Contenido fenólico, debido a que el con p-valor en todos los casos es menor a 0,05, esto con un nivel de confianza del 95%.

Considerando la interaccion entre variedad y nivel tueste del café, la variedad Sarchirmor rojo con tueste claro presenta mayor contenido de fenoles (7,22 mg EAG /g

de muestra). En todas las variedades se observa una disminución en el contenido fenólico según avanza el nivel de tueste, siendo estadísticamente diferentes (p -valor $<0,05$) las medias de contenido fenólico al analizar la varianza entre los niveles de tueste lo cual coincide con lo reportado por Lazcano et al., (2015) y Somporn et al., (2011) quienes expresan que existe una pérdida de compuestos fenólicos debido al proceso térmico de tostado, ya que durante este proceso el ácido clorogénico se desdobla como ácido quínico y cafeico, esta reacción se ve acelerada a medida que aumenta la temperatura de tueste y el tiempo de exposición a ella. Díaz et al., (2018), indica que los factores tiempo y temperatura de tueste influyen de manera directa sobre el contenido fenólico, impactando de manera negativa a estos compuestos. Esto podría deberse a que los compuestos fenólicos son termolábiles, es decir que se descomponen rápidamente a temperaturas superiores a 80°C por períodos de tostado prolongados.

Es preciso mencionar que la composición química en general de los frutos se ve influenciada por las condiciones climáticas, la composición del suelo de cultivo y el proceso post cosecha de estas especies vegetales (Pérez et al., 2013). El rango del contenido fenólico de estas materias primas en los diferentes niveles de tueste va desde 7,22 a 6,13 mg EAG/g de muestra. Los valores encontrados fueron inferiores en comparación con otras investigaciones realizadas, por Vega et al., (2017), y Afify et al., (2011) esta diferencia puede depender de diversos factores como: el método de extracción (Kocadagli y Gokmen, 2016), el secado (Cruzalegui et al., 2021), la procedencia genética del café (Lazcano et al., 2015), y su origen geográfico (Vignoli et al., 2011)

3.4 Determinación de capacidad antioxidante

3.4.1 Método DPPH

Los resultados del ANOVA realizado en la cuantificación de la capacidad antioxidante a través del método DPPH se presentan en la tabla 8. En este sentido se logró identificar que los factores tueste, variedad, interacción tueste-variedad son estadísticamente significativos, lo que indica una influencia de ellos sobre la capacidad antioxidante del café tostado.

Tabla 8. Cuantificación de actividad antioxidante método DPPH.

Tueste	Variedad	Contenido de antioxidantes total mg TEAC /g de muestra
Claro	Sarchirmor R	7,71 ^f
Medio	Sarchirmor R	7,33 ^c
Oscuro	Sarchirmor R	7,18 ^b
Claro	Acawa	7,66 ^f
Medio	Acawa	7,56 ^e
Oscuro	Acawa	6,74 ^a
Claro	Catuai A	7,57 ^e
Medio	Catuai A	7,47 ^d
Oscuro	Catuai A	7,42 ^d

En la Tabla 8. puede evidenciarse que al igual que el contenido fenólico, la capacidad antioxidante medida a través del método DPPH, disminuye conforme avanza el nivel de tueste, lo cual coincide con lo reportado por (Lazcano et al., 2015). Así también las variedades Sarchimor Rojo y Acawa con nivel de tueste claro lograron la mayor capacidad antioxidante (7,71 y 7,66 mg Trolox /g de muestra respectivamente) y Acawa Oscuro el menor contenido (6,74 mg Trolox /g de muestra), con estos resultados comprobamos que el nivel de tueste disminuye los antioxidantes, pero el nivel de la disminución depende también de la variedad del café. Probandose además que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los distintos niveles de tueste para cada variedad, lo que concuerda con lo dicho por Vignoli et al., (2011), estos autores concluyen que la actividad antioxidante no depende únicamente del grado de tueste, sino que también de la composición química de los granos de café.

También (Vignoli et al., 2014) reporta que los compuestos antioxidantes tienden a ser inestables térmicamente, por lo que su disminución se relaciona con un tueste más oscuro, donde los antioxidantes se destruyen con altas temperaturas Giuffrè et al., (2018). Lo que se compensa con los compuestos que se generan como las melanoidinas en las reacciones de Maillard y Strecker, que permiten fortalecer las propiedades antioxidantes

y equilibrar las disminuciones fenólicas en la actividad antioxidante (Ludwig et al., 2014 , Vignoli et al., 2014).

Los granos verdes de café presentan una fuente diversa de compuestos bioactivos con radicales libres o actividad antioxidante que los caracteriza, estos engloban diferentes cantidades de ácido clorogénico, cafeína, cafestol, trigonelina y kahweol, que depende de la variedad del café (Liang & Kitts, 2014).

Durante el proceso de tueste se producen una serie cambios en la composición química del café, que permite la formación del aroma, sabor y pigmentos de pardeamiento no enzimático, un ejemplo de esto es la reacción de Maillard, del cual se generan las melanoidinas, que contribuyen hasta un 25% de la materia seca del café preparado y también presentan actividad antioxidante (Shalaby & Shanab, 2013). Es por esto que el café procesado no solo posee los compuestos originales de los granos verdes, sino también posee los compuestos generados en el proceso del tostado Ramalakshmi et al., (2008). En este proceso el ácido clorogénico se pierde, pero las melanoidinas que se forman permiten compensar la posible disminución de la actividad antioxidante (Zamora, 2012).

Finalmente, el contenido de antioxidantes no solo depende el nivel de tueste como se cita anteriormente, sino también de varios factores como, la variedad, nivel de tueste, tipo de fermentación, el molido del grano, y las condiciones de tueste, ya que en este proceso pueden descomponerse parcialmente o unirse a otras estructuras, lo cual puede generar productos de la reacción de Maillard que también presentan actividad antioxidante (Naranjo et al., 2011).

3.4.2 Método FRAP

La Tabla 9. Presenta los valores de capacidad antioxidante medida por el método FRAP, en ella se logró identificar que existe diferencia significativa entre todas medias (p -valor $< 0,05$) con un nivel de confianza del 95%, siendo influyentes los dos factores de estudio (tueste y variedad) y la interacción entre ellos. Sin embargo, en este caso no existe diferencia significativa entre el nivel de tueste claro y medio para ninguna de las

variedades, pero si hay diferencia significativa con respecto del nivel oscuro a excepción de la variedad Catuai amarillo.

Tabla 9. Cuantificación de actividad antioxidante método FRAP.

Tueste	Variedad	Contenido de actividad antioxidantes mg TEAC/g de muestra
Claro	Sarchirmor R	2038,99 ^{b,c,d}
Medio	Sarchirmor R	1817,51 ^{b,c}
Oscuro	Sarchirmor R	764,17 ^a
Claro	Acawa	2503,96 ^d
Medio	Acawa	2591,8 ^d
Oscuro	Acawa	1481,27 ^b
Claro	Catuai A	2129,66 ^{c,d}
Medio	Catuai A	1814,53 ^{b,c}
Oscuro	Catuai A	1790,66 ^{b,c}

TEAC: Capacidad antioxidante equivalente a Trolox

En este sentido se reitera el hecho de que el contenido de antioxidantes es susceptible a la temperatura de tueste, esto debido a la termolabilidad de los compuestos químicos presentes en la muestra a los cuales se les atribuye una actividad antioxidante (Kamiyama et al., 2015) tales como ácidos clorogénicos , trigonelinos, polifenoles.

Existe una relación inversamente proporcional entre el incremento de la temperatura y tiempo de tueste y la capacidad antioxidante, algunos de los factores que permiten justificar estas diferencias, es la inestabilidad térmica de los compuestos antioxidantes, como el 90% de los ácidos clorogénicos que se pierden después de tueste severo, aunque se incorporan en las melanoidinas cuando inicia el proceso de tueste, estos posteriormente se degradan (Sunarharum et al., 2019; Tripathi et al., 2019).

Por otro lado, aunque para determinar el contenido de antioxidantes en nuestras café se utilizaron dos ensayos FRAP y DPPH, se observa que los resultados son diferentes para cada uno, sin embargo, de acuerdo a Budryn et al., (2015) esto se da por la naturaleza de cada ensayo, ya que cada método se basa en un mecanismo diferente de reacción. Por

otro lado, la mayoría de las investigaciones reportan la preparación de extractos acuosos para este tipo de muestras mientras que en este trabajo se utilizaron extractos hidroalcohólicos, extrayendo más de un componente u otro en dependencia del solvente utilizado, lo que genera una variación en los resultados del contenido de antioxidantes. Dificultando la comparación entre resultados obtenidos (Reyes et al., 2015). No obstante, ambos métodos permitieron probar que las muestras valoradas poseen capacidad antioxidante asociada al contenido fenólico y según la literatura también los ácidos clorogenicos y trigonelinos, que presenta sensibilidad térmica (Somporn et al., 2011).

3.5 Determinación de Cafeína

La tabla 10. refiere los valores de cafeína cuantificados en las muestras objeto de estudio. Considerando la interacción entre variedad y nivel de tueste, el ANOVA realizado mostro, que existe diferencia significativa (p -valor $< 0,005$) entre todas las medias siendo influyentes los dos factores de estudio (variedad y tueste) y la interacción entre ambos. No obstante, al analizar los resultados de las pruebas post hoc se evidenció que no existe diferencia significativa entre las medias del contenido de cafeína en los diferentes niveles de tueste en ninguna de las variedades excepto Sarchimor Rojo en nivel de tueste oscuro, el mismo en el que se identificó el menor contenido de cafeína. Cwicova et al., (2022), en su estudio no estableció ningún efecto significativo del nivel de tueste con respecto al contenido de la cafeína, lo que se relaciona a lo evidenciado en este estudio. El rango de cafeína en estas muestras va desde 313 hasta 236, cafeína por gramo de muestra.

Tabla 10. Cuantificación de cafeína

Tueste	Variedad	Contenido de cafeína mg/g de muestra
Claro	Sarchirmor R	282,9 ^{b,c,d,e}
Medio	Sarchirmor R	305,9 ^{d,e}
Oscuro	Sarchirmor R	236,13 ^a
Claro	Acawa	311,88 ^e
Medio	Acawa	313 ^e
Oscuro	Acawa	303,3 ^{c,d,e}
Claro	Catuai A	280,11 ^{b,c,d}
Medio	Catuai A	273,33 ^{b,c}
Oscuro	Catuai A	265,1 ^{a,b}

Varios autores reportan que no existen efectos alguno del grado de tueste sobre el contenido de cafeína, debido a que este alcaloide presenta estabilidad térmica (Wei et al., 2014; Jeon et al., 2017; Alamri et al., 2022). Según Santacruz (2014) en un tueste normal no tiende a sufrir cambios, pero si pueden existir pérdidas pequeñas por la sublimación y la aplicación grados de tueste más extremos, sin embargo (Farah, 2012) reporta que el contenido de cafeína puede aumentar, debido a que otros compuestos se pierden.

En la tabla 10. se puede observar que en las variedades Sarchimor Rojo y Acawa, un leve aumento de cafeína en tueste medio, pero una disminución en tueste oscuro, se relaciona a lo mencionado por (Ormaza et al., 2019), que este alcaloide tiene un aumento en leves proporciones conforme el grado de tueste aumenta, pero al aplicar grados de tuestes superiores, se pudo notar una mínima pérdida de alcaloide (Shan et al., 2016)

La cafeína se puede ver afectada por varios factores, pero (Rivera et al., 2013) han reportado que los factores que tiene una mayor influencia es la variedad, es decir que la composición química que posee el grano inicialmente es importante en la cantidad de cafeína que tenga el grano después del tueste, otro factor influyente según (Navarro et al., 2019) es el nivel de altitud de donde proviene los granos, a altitudes de 1000 – 1200

m.s.n.m tiene mejores promedios de cafeína a comparación de granos provenientes de altitudes de 500 – 800 m.s.n.m, a pesar de esto Seninde & Chambers, (2020), concluye que la cafeína no varía incluso si se tuesta demasiado, debido a que es una sustancia termoestable.

3.6 Determinación de grasa

Tabla 11. Porcentaje de grasa por el método Soxhletl.

Tueste	Variedad	Contenido de Grasa %
Claro	Sarchirmor R	12,21
Medio	Sarchirmor R	12,38
Oscuro	Sarchirmor R	11,92
Claro	Acawa	11,94
Medio	Acawa	12,22
Oscuro	Acawa	13,52
Claro	Catuai A	13,96
Medio	Catuai A	14,78
Oscuro	Catuai A	14,54

En la tabla 11. se observan los porcentajes de grasa en café tostado, los valores encontrados en estas tres variedades con diferentes niveles de tueste se encuentra dentro de rangos reportados en la literatura para café arábica que varían entre 10,5% - 17,7% (Villarreal et al., 2012), aunque estudios sugieren que el contenido de lípidos total se puede ver afectado por factores como la variedad, las condiciones medioambientales, es decir cafés cultivados bajo sombra o de altura, condiciones de cultivo, el método de extracción y en algunos casos el método utilizado para su cuantificación.

En relación a los resultados obtenidos considerando la interacción entre la variedad y nivel de tueste los porcentajes de grasa alcanzados por parte de la variedad Acawa, sugieren un aumento del contenido de grasa en relación al grado de tueste, donde el tueste los valores fueron de 11,94 a 13,52 aunque el aumento no es significantes, se puede decir que en esta variedad el contenido de grasa no se pierde y se relaciona a lo

dicho por Folstar (1985) que indica que los lípidos pueden aumentar significativamente por la disminución de humedad relativa en el proceso de tostado, sin embargo las variedades Sarchimor rojo y Catuai amarillos denotan una diferencia respecto a su porcentaje de grasas, debido a que mientras más alto el nivel de tueste, menor el contenido de lípidos, estos resultados decrecientes pueden estar directamente relacionados con un contenido más bajo en lípidos por parte de estas variedades de café según (Krivan et al., 2020), además según (Puerta & Echeverri, 2019), indican que al incremento de temperatura inicial existe una disminución de la cantidad de lípidos, teniendo un valor de 11,4 % en café tratado a una temperatura inicial y final de 185 –210 °C

A diferencia de las demás variedades, Catuai amarillo presenta un rango mayor grasa, entre 13,96 a 14,54 %, donde se puede recalcar que la composición química del grano verde influyen en su composición final (Saengrayap et al., 2022).

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

- Las tres variedades de café en los tres niveles de tueste cumplen con características que le permiten mantenerse estables durante el almacenamiento debido al bajo valor de actividad de agua de los granos tostados, en todos los casos se cumple con lo normado en la NTE INEN 1123 (Café tostado en grano molido: requisitos), ubicando a los tres niveles o grados de tueste en tonalidades que van desde medio claro (65) hasta un tueste muy oscuro (35) según la escala SCAA. De acuerdo al contenido de cafeína de las muestras todas las variedades y los diferentes tuestes clasifican como café sin descafeinar, corroborando así la termo estabilidad de la cafeína a la que hacen alusión varios autores.
- La capacidad antioxidante del café tostado se ve influenciada por la variedad y el grado de tueste, a medida que se incrementa el nivel de tueste disminuye el contenido de fenoles y la capacidad antioxidante asociada a estos y otros compuestos bioactivos. Independientemente del nivel de tueste la variedad con mayor actividad antioxidante fue Catuai amarillo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar un equipo de tostado, con mayores controles de tiempo y de temperatura, para no exceder en estos factores y no influya significativamente en la composición físico química del café.

- Realizar evaluaciones sensoriales para conocer como los factores tueste y variedad afectan a las características organolépticas del café.
- Seleccionar los granos con mayor precisión, desde el grado de madurez, hasta después de su secado para no permitir que granos verdes, y con daños por enfermedades propias del café, afecten a su composición final.

BIBLIOGRAFIAS

Acuña, N., Retamoso, A., & Osorio, F. (2020). Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la torrefacción de café. Fundación Universitaria de San Gil "UNISANGIL". <https://core.ac.uk/download/pdf/267846078.pdf>

- Afify, A.M.R., Shalaby, E. A. y El-Beltagi, H. S. 2011. Antioxidant activity of aqueous extracts of different caffeine products. *Journal of Medicinal Plants Research*. 20:5071-5078.
- Alamri, E., Rozan, M., & Bayomy, H. (2022). A study of chemical Composition, Antioxidants, and volatile compounds in roasted Arabic coffee. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), 3133-3139.
- Asociación Nacional del Café, Anacafé. (2016). Guía de variedades de café. Guatemala, ANACAFE, (1).
<https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Guía-de-variedades-Anacafé.pdf>
- AOAC INTERNATIONAL. (2023). Official Method 978.18 Water Activity of Canned Vegetables Get. AOAC INTERNATIONAL.
<https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.3562>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The Frap Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Barrantes Montoya, S. I. (2019). Efecto del tipo de beneficiado en la torrefacción de los granos de café (*Coffea arabica*). Universidad de Costa Rica.
<http://ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wpcontent/uploads/2022/04/TFG-SergioBarrantes.pdf>
- Bertrand, B., Vaast, P., Alpizar, E., Etienne, H., Davrieux, F., & Charmetant, P. (2006). Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree physiology*, 26(9).
<https://doi.org/10.1093/treephys/26.9.1239>

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Budryn, G., Nebesny, E., & Oracz, J. (2015). Correlation Between the Stability of Chlorogenic Acids, Antioxidant Activity and Acrylamide Content in Coffee Beans Roasted in Different Conditions. *International Journal of Food Properties*, 18(2), 290–302. DOI: 10.1080/10942912.2013.805769
- Cardona Serrate, F. (2019, Noviembre 11). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones. *Universitat Politècnica de València*. <http://hdl.handle.net/10251/121948>
- Carvajal, J. J., Aristizábal, I., Oliveros, C., & Mejía, J. (2011). Coffee Fruit (*Coffea arabica* L.) Colorimetry During its Development and Maturation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 64(2), 6229-6240.
- Cedeño Ortega, E. S. (2024). *Análisis de la Producción Nacional de Café Arábigo en Ecuador y oportunidades de exportación al mercado europeo* (Bachelor's thesis).
- Cedeño, E., & Zapata, J. (2024). ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE CAFÉ ARÁBIGO EN ECUADOR Y OPORTUNIDADES DE EXPORTACIÓN AL MERCADO EUROPEO. *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28930/1/UPS-GT005656.pdf>
- Cela, R., Lorenzo, R., & Casais, M. (2003). In *Técnicas de Separación en Química Analítica*. Síntesis Editorial. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=19305>

- Clifford, M. N., & Willson, K. C. (1986). Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage. *Food And Chemical Toxicology*, 24(5), 433-434.
[https://doi.org/10.1016/0278-6915\(86\)90211-5](https://doi.org/10.1016/0278-6915(86)90211-5)
- Chavez, G., Aguilar, R., & Ramírez, R. (2024, Mayo 17). Análisis de la producción del café en Ecuador y la parroquia Ayapamba, provincia El Oro. *Revista de Investigacion en Ciencias Administrativas y Sociales*, 7(18), 191 - 203.
<https://revistaneque.org/index.php/revistaneque/article/view/172/511>
- Consejo Salvadoreño del Café (CSC), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), & Unión Europea (UE). (2020). Guía Práctica de Caficultura. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*.
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/13191>
- Cruzalegui, R. J., Güivin, O., Fernández-Jeri, A. B., & Cruz, R. (2021). Caracterización de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de pulpa de café (*Coffea arabica* L.) deshidratada de tres fincas cafeteras de la región Amazonas (Perú). *Información Tecnológica*, 32(5), 157-166. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000500157>
- Cwiková, O., Komprda, T., Šottníková, V., Svoboda, Z., Simonová, J., Slováček, J., & Jůzl, M. (2022). Effects of Different Processing Methods of Coffee Arabica on Colour, Acrylamide, Caffeine, Chlorogenic Acid, and Polyphenol Content. In *Foods* (Vol. 11, Issue 20). <https://doi.org/10.3390/foods11203295>
- De Luca, S., De Filippis, M., Bucci, R., D. Magrì, A., & Magrì, A. (2016, Noviembre). Characterization of the effects of different roasting conditions on coffee samples of different geographical origins by HPLC-DAD, NIR and chemometrics.

Microchemical Journal, 129, 348-361.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.07.021>

Díaz, F., Ormaza, A., & Rojano, B. (2018). Effect of Coffee Roasting (*Coffea arabica* L. var. Castillo) on Cup Profile, Antioxidant Compound Content and Antioxidant Activity. *Información tecnológica*, 29(4). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400031>

Díaz Santacruz, P. A. (2014). Efectos de la altitud sobre la calidad del café torrefactado (*coffea arábica* l. var. Colombia) producido en los municipios de Buesaco y la Unión–Nariño, pertenecientes al ecotopo e–220 a.

Dudonné et al. (2009). Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays - *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (ACS Publications). *J. Agric. Food Chem*, 57(5), 1768–1774.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1021/jf803011r>

Farah, A., & Donangelo, C. (2006, Agosto 9). Compostos fenólicos em café. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 18(1), 23-26.
<https://doi.org/10.1590/S167704202006000100003>

Farah, A. (2012) *Coffee Emerging Health Effects and Disease Prevention*. John Wiley & Sons, Blackwell Publishing Ltd. - References - Scientific Research Publishing.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3059723>

Félix Zamora, M. (2012). Determinación de ácidos clorogénico y cafeico, cafeína, polifenoles totales y actividad antioxidante de tres variedades de café (*coffea arabic* L.). *Universidad Nacional Agraria de la Selva*.
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/282>

- Fermín, N., Galán, H., García, J., & Bracho, N. (2012). Evaluación de la calidad físico-química y sensorial de tres marcas comerciales de café tostado y molido | Physical-chemical and sensory quality evaluation of three commercial brands of roasted and grounded coffee. *UDO Agrícola*, 12(2). <http://saber.udo.edu.ve/index.php/udoagricola/article/view/3069/24792629>
- Folstar, P. (1985). Lipids. En *Springer eBooks* (pp. 203-222). https://doi.org/10.1007/978-94-009-4948-5_6
- Foti, M. C., Daquino, C., Dilabio, G. A., & Ingold, K. U. (2011). Kinetics of the oxidation of quercetin by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (dpph •). *Organic Letters*, 13(18), 4826–4829. <https://doi.org/10.1021/ol2019086>
- Galarza Pisco, M. J., & Ayón, N. (2024). Respuesta productiva de cuatro genotipos de café (*Coffea arabica* L.) a la fertilización ecológica en la primera cosecha. In *IVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABI*. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6266/1/Galarza%20Pisco%20María%20José.pdf>
- García, E., Fuentes, A., & Fernández, I. (2018). Extracción y cuantificación de cafeína mediante espectroscopía UV-Visible en café, té y cacao. *Riunet*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/104055/García%3BFuentes%3BFernández%20-%20Extracción%20y%20cuantificación%20de%20cafeína%20mediante%20espectroscopía%20UV-Visi....pdf?sequence=1>
- García, J., Castro, C., Fuentes, T., Vera, M., & Posligua, J. (2024). COMPORTAMIENTO DE LA VARIEDAD DE CAFÉ ACAWA CONAPLICACIÓN DE FERTILIZANTES EDÁFICOS EN VIVERO. *ESPAMCIENCIA*, 15, 9-15. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15iE.516

- Giuffrè, A., Caracciolo, M., Zappia, C., Capocasale, M., & Poiana, M. (2018). Effect of heating on chemical parameters of extra virgin olive oil, pomace olive oil, soybean oil and palm oil. *Italian Journal Of Food Science*, 30(4), 715-739.
<https://doi.org/10.14674/ijfs-1269>
- Guambi, L. A. D., Moreano, J. A., Talledo, D. S. F., & Del Rocío Velásquez Cedeño, S. (2018). Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) en la amazonía del Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2).
<https://www.redalyc.org/journal/813/81357541011/>
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, 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.
<https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>
- Herrera, J. C., & Cortina, H. A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 1, pp. 117–121). Cenicafé; 7. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_07
- Hečimović, I., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D., & Komes, D. (2011). Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. *Food Chemistry*, 129(3), 991-1000.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.059>
- INIAP. (2019). Cacao y Café Estación Experimenta Portoviejo. *INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS*.
https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5629/1/iniapeep2019CACAOY_CAFE.pdf

- Jeon, J. S., Kim, H. T., Jeong, I. H., Hong, S. R., Oh, M. S., Park, K. H., ... & Abd El-Aty, A. M. (2017). Determination of chlorogenic acids and caffeine in homemade brewed coffee prepared under various conditions. *Journal of Chromatography B*, 1064, 115-123.
- Jiménez-Torres, A., & Massa-Sánchez, P. (2015). *Producción de café y variables climáticas: El caso de Espíndola, Ecuador*. Redalyc.org.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195648804006>
- Jijón Ochoa, P. 2018. Resurge el café de Manabí. Obtenido de <https://revistademanabi.com/2018/04/08/resurge-el-cafe-en-manabi/>
- Jiménez, H., Diezma, B., & Correa, E. (2011). UN BUEN CAFÉ: UNA SIMBIOSIS DE COLOR Y SABOR. *Universidad Politécnica de Madrid*.
<https://oa.upm.es/12618/>
- Julca, A., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Castro-Cepero, V., León Rojas, F., Valderrama Palacios, D., & Bello Amez, S. (2023, Agosto). Coffee varieties (Coffea arabica), a review and some experiences in Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, Bolivia*, 10(2), 134-155.
<https://doi.org/10.53287/ruyx4519vm15b>
- Kamiyama, M., Moon, J. K., Jang, H. W., & Shibamoto, T. (2015). Role of degradation products of chlorogenic acid in the antioxidant activity of roasted coffee. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(7). 10.1021/jf5060563
- Kim, S. Y., Ko, J. A., Kang, B. S., & Park, H. J. (2018). Prediction of key aroma development in coffees roasted to different degrees by colorimetric sensor array. *Food chemistry*, 240, 808-816.

- Kocadagli, T. y V. Gokmen, Effect of roasting and brewing on the antioxidant capacity of espresso brews determined by the QUENCHER procedure, *Food Res. Int.*, doi:10.1016/j.foodres.2016.03.004 (2016)
- Krivan, V., Araújo, J. M. A., & Araújo, M. A. M. (2020). Coffee lipids: Composition, oxidation, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 332, 127-402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127402>
- Konica Minolta (2022, 7 octubre). *Comunicación precisa de los colores - Konica Minolta Sensing*. Konica Minolta Sensing. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/learning-center/white-papers/precise-color-communication/>
- Kulapichitr, F., Borompichaichartkul, C., Fang, M., Suppavorasatit, I., & Cadwallader, K. R. (2022, January 1). Effect of post-harvest drying process on chlorogenic acids, antioxidant activities and CIE-Lab color of Thai Arabica green coffee beans. *Food Chemistry*, 366. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130504>
- Lazcano, E., Trejo, M. A., Vargas, M. G., & Pascual, S. (2015). CONTENIDO DE FENOLES, CAFEINA Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE GRANOS DE CAFÉ VERDES Y TOSTADOS DE DIFERENTES ESTADOS DE MÉXICO. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 186(2), 293-298. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81343176021>
- Liang, N., & Kitts, D. (2014, Noviembre 19). Antioxidant Property of Coffee Components: Assessment of Methods that Define Mechanisms of Action. *Molecules*, 19(11). <https://doi.org/10.3390/molecules191119180>
- López, E., & Castaño, J. (1999). EXTRACCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DE LA TRILLA DE CAFÉ PERGAMINO. *Cenicafé*, 50(2),

119-125. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050%2802%29119-125.pdf>

Ludwig, I. A., Mena, P., Calani, L., Cid, C., Del Rio, D., Lean, M. E. J., & Crozier, A. (2014). Variations in caffeine and chlorogenic acid contents of coffees: what are we drinking? *Food & Function*, 5(8), 1718-1726.
<https://doi.org/10.1039/c4fo00290c>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2022. MAG y empresa privada reactivan al sector cafetalero en Manabí. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/mag-y-empresa-privada-reactivan-al-sector-cafetalero-en-manabi/>

Magalhães, L. M., Santos, F., Segundo, M. A., Reis, S., & Lima, J. L. F. C. (2010). Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-Ciocalteu reducing capacity. *Talanta*, 83(2), 441–447.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.09.042>

Martinez, Y., Quality Control Specialist, & Sustainable Harvest Coffee Importers. (2021). “Actividad del agua y su impacto en la calidad y vida útil del café”. *Anacafe*.
https://www.anacafe.org/uploads/file/9fd835205e724c6185861b862d3a7cd4/11_Actividad_del_agua_y_su_impacto_en_la_calidad_y_vida_util_del_cafe.pdf

Mipro, Ministerio de Productividad de Ecuador, Swisscontact. 2016. Manual básico de buenas prácticas para el tostado de café [internet]. Ecuador.
https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Ecuador/Documents/Content/ManualTuesteCafe.pdf.

Morán, J., & Jiménez, E. (2023). Characterization of coffee (*Coffea arabica* L.) production systems in the Tepec-Xomolth Nature Reserve, Madriz, Nicaragua. *SIEMBRA*, 10(1). <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4402>

- Nakilcioğlu-Taş, E., & Ötleş, S. (2019). Physical characterization of Arabica ground coffee with different roasting degrees. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 91(2). e20180191. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180191>
- Naranjo, M., Vélez, L., & Rojano, B. (2011). Antioxidant activity of different grades of Colombian coffee. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962011000200005&script=sci_arttext
- Navarro, E., Pezo, M., & García, M. (2019, Julio 19). Cuantificación de cafeína y su efecto en la calidad sensorial en tres variedades de café (*Coffea arabica* L.), según nivel altitudinal en la Región San Martín. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 1(2). <https://doi.org/10.51252/raa.v1i2.164>
- NOVASINA. (2021). Operating Instructions Labswift-aw. *Novasina*. <https://www.novasina.ch/wp-content/uploads/2021/05/Ba-LabTouch-aw-E-004106-05.pdf>
- NTE INEN 1123. (2016, 10). NORMA TECNICA ECUATORIANA. *Café tostado en grano o molido. Requisitos*
- Ocampo, O., & Álvarez, L. (2017, Mayo 25). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *Apuntes del Cenes*, 36(64), 139-165. <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- Osorio, V., & Pabón, J. (2022). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la calidad sensorial del café. *Cenicafé*, 73(1). <https://doi.org/10.38141/10778/73102>
- Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C., & Echeverri, L. (2021). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la composición química del café. *Cenicafé*, 72(1). <https://doi.org/10.38141/10778/72103>

- Osorio, V., Pabón, J., Gallego, C., & Echeverri, L. (2021). EFECTO DE LAS TEMPERATURAS Y TIEMPOS DE TUESTE EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ. *Revista Cenicafé*, 72(1).
<https://doi.org/10.38141/10778/72105>
- Osorio, V., Pabón, J., & Gómez, C. (2024). Efecto del porcentaje de humedad del café en la actividad de agua. *Revista Cenicafé*, 75(1). *Revista Cenicafé*, 75(1), e75104.
<https://doi.org/10.38141/10778/75104>
- Ormaza Zapata, A. M., Díaz Arango, F. O., & Rojano, B. A. (2019). Efecto de los métodos de preparación del café de filtración por presión (*Coffea arabica* L. var. Castillo) sobre el contenido y actividad antioxidante, y la aceptación de la bebida. *DYNA*, 86(209 SE-Artículos), 261–270.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.75839>
- Parada, M., Caballero, L., & Rivera, M. (2017). CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE TRES VARIEDADES DE CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO CULTIVADOS EN NORTE DE SANTANDER. *@LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA*, 15(1), 66-67.
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/alimen/article/view/2175/2255>
- Pérez Hernández, L. M., Chávez Quiroz, K., Medina Juárez, L. Á., & Meza, N. G. (2013). Compuestos fenólicos, melanoidinas y actividad antioxidante de café verde y procesado de las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. *BIOtecnia*, 15(1), 51-56.
- Piguave, C., Suarez, L., & Monserrate, V. (2018). Evaluación de la producción de variedades e híbridos de *Coffea arabica* (café arábigo). *JIPIJAPA-UNESUM*.
<https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1283>

- Pita Guaranda, D. A. (2021). Evaluación morfológica de siete genotipos de café arábica (*Coffea arábica*) injertados en café robusta (*Coffea canephora*), en etapa de vivero. *Jipijapa.UNESUM*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3374>
- Pincay, J., Héctor, E., Torres, A., & Fosado, O. (2022, Marzo 4). Germination of *Coffea arabica* L. var. Sarchimor with biostimulants and their subsequent effect on seedling growth. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 27-36. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.4097
- Pinheiro, F. d. A., Ferreira, L., Filho, M. d. J., Mololo, M., Gomes, J. d. C., Fumiere, M., Scherer, R., & Soares, W. (2021, January 30). Arabica and Conilon coffee flowers: Bioactive compounds and antioxidant capacity under different processes. *Food Chemistry*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127701>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Porras, M., Vargas, G., Araúz, L., & Abarca, Y. (2019, Abril). Effect of temperature on the speed of coffee roasting. *Tecnología en Marcha. Vol. 32, Especial. XIII CLIA*, 32, 20-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4255>
- Portillo, O., & Arévalo, A. (2022, 07 03). Coffee's carbohydrates. A critical review of scientific literature. *Revista Bionatura*, 7(3). <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.03.11>
- Puerta, G. (2006, Octubre). LA HUMEDAD CONTROLADA DEL GRANO PRESERVA LA CALIDAD DEL CAFÉ. *Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/10779/0352>

- Puerta, G. (2011, Diciembre). COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UNA TAZA DE CAFÉ. *Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/340/1/avt0414.pdf>
- Puerta, G. (2013). Calidad del café. En *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, 3, 81-110. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_30
- Puerta, G. I., & Echeverri, L. F. (2019). Relaciones entre las concentraciones de compuestos químicos del café y las temperaturas de torrefacción. *Revista Cenicafé*, 70(2), 67–80. <http://hdl.handle.net/10778/4217>
- Ramalakshmi, K., Kubra, I. R., & Rao, L. J. M. (2007). Antioxidant potential of low-grade coffee beans. *Food Research International*, 41(1), 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.003>
- Redgwell, R., & Fischer, M. (2006). Coffe Carbohydrates. *Plant Phys*, 18(1), 1-10. doi:10.1590/S1677-04202006000100012
- Reyes, A., Salinas, Y., Ovando, M., Arteaga, R., & Martínez, M. (2015). ANÁLISIS DE ÁCIDOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS ACUOSOS DE VARIEDADES DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) CON CÁLICES DE COLORES DIVERSOS. *Agrociencia*, 49(3). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238027004>
- Rioja, A., Vizaluque, B., Aliaga-Rossel, E., Tejada, L., Book, O., Mollinedo, P., & Peñarrieta, M. (2018, Diciembre 25). DETERMINATION OF THE TOTAL ANTIOXIDANT CAPACITY, TOTAL PHENOLS, AND THE ENZYMATIC ACTIVITY IN A NON-DIARY BEVERAGE BASED ON GRAINS OF

CHENOPODIUM QUINOA. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 168-176.
<https://www.redalyc.org/journal/4263/426358213006/html/>

Rivera, W., Velasco, X., & Rincón, C.A. (2013, Noviembre). Evaluación por TGA y FTIR de los cambios de composición producidos por la tostión en granos de café. *Revista Colombiana de Física*, 5(3).
<https://fisica.udea.edu.co/ojs/ojs/index.php/rcf/article/download/450334/507>

Rodríguez Aguirre, O. E., Andrade Barreiro, W. A., & Diaz López, F. E. (2015). Actividad antioxidante de extractos de hojas de *Bocconia frutescens* L. (Papaveraceae) Antioxidant activity of extracts from leaves of *Bocconia*. *Revista de Tecnología*, 14(2), 21–36
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041492>

Saengrayap, R., et al. (2022). Lipid oxidation changes of Arabica green coffee beans during accelerated storage with different packaging types. *Foods*, 11(19), 3040. <https://doi.org/10.3390/foods11193040>

Saud, S., & Salamatullah, A. M. (2021). Relationship between the Chemical Composition and the Biological Functions of Coffee. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(24), 1-14. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules26247634>

Specialty Coffee Association of American (2015) Protocols. SCAA. - References - Scientific Research Publishing.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2478203>

Shalaby, E. A., & Shanab, S. M. (2013). Antioxidant compounds, assays of determination and mode of action. *African journal of pharmacy and pharmacology*, 7(10), 528-539.

- Shan, O. E., Zzaman, W., & Yang, T. A. (2016). Impact of different temperaturetime profiles during superheated steam roasting on some physical changes of Robusta coffee. *Journal of Tropical Agricultural Science*, 39(3), 3–5. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85002625819&partnerID=40&md5=e85ad92f50c254e34b6817668cd4cc0c>
- Seninde, D. R., & Chambers, E. (2020). Coffee Flavor: A Review. In *Beverages* (Vol. 6, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/beverages6030044>
- Svilaas, A., Sakhi, A., Andersen, L., Svilaas, T., Ström, E., Jacobs, D., Ose, L., & Blomhoff, R. (2004). Intakes of antioxidants in coffee, wine, and vegetables are correlated with plasma carotenoids in humans. *The Journal of nutrition*, 134(3), 562–567. <https://doi.org/10.1093/jn/134.3.562>
- Somporn, C., Kamtuo, A., Theerakulpisut, P., & Siriamornpun, S. (2011). Effects of roasting degree on radical scavenging activity, phenolics and volatile compounds of Arabica coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Catimor). *International Journal of Food Science & Technology*, 46(11), 2287-2296.
- Sousa M.B.T.; Santos J.R.; Almeida P.J.; Rodrigues J.A. Low pressure ion pair chromatography with amperometric detection for the determination of trigonelline in coffee samples. *Food Res Int.* 2018;114:223-29. doi: 10.1016/j.foodres.2018.07.068
- Sunarharum, W., Yuwono, S., & Aziza, O. (2019). Study on the effect of roasting temperature on antioxidant activity of early-roasted Java coffee powder (Arabica and Robusta). *International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy*. 230, pág. 012045. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. doi:doi:10.1088/1755-1315/230/1/012045

- Talens Oliag, P. (2017). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. *Universitat Politècnica de València*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/talens%20-%20evaluaci3n%20del%20color%20y%20tolerancia%20de%20color%20en%20alimentos%20a%20trav3s%20del%20espacio%20cielab.pdf?sequence=1>
- Tripathi, S., Srivastava, R., Agarwal, S., Shrimali, S., & Mishra, N. (2019). Effect of roasting on antioxidants and related compounds in green coffee beans. En *CRC Press eBooks* (pp. 74-78). <https://doi.org/10.1201/9781003001614-12>
- Tsai, C.-F., & Jioe, I. P. (2021). The Analysis of Chlorogenic Acid and Caffeine Content and Its Correlation with Coffee Bean Color under Different Roasting Degree and Sources of Coffee (*Coffea arabica Typica*). In *Processes* (Vol. 9, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/pr9112040>
- Vázquez, J. (2023, May 25). *Loja, café de calidad con denominación de origen*. Cultura Científica - UTPL. <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/loja-cafe-de-calidad-con-denominacion-de-origen/>
- Vega, A., De León, J. A., & Reyes, S. M. (2017). Determinación del contenido de polifenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante de 34 cafés comerciales de Panamá. *Información Tecnológica*, 28(4), 29-38. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642017000400005>
- Velásquez, J. (2017). EVALUACIÓN AGRO-MORFOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE 9 CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBIGO (*Coffea arábica l*) EN EL TERCER AÑO DEL CULTIVO, EN EL CANTÓN CALUMA, PROVINCIA BOLÍVAR – ECUADOR. In *UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR*. UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR.

<https://dspace.ueb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b963e3ad-a081-4b64-87f0-635034aee3b8/content>

Velásquez, R. (2019, Marzo). *Guía de variedades de café*. Asociación Nacional del Café.

<https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>

Venegas, S., Orellana, D., & Pérez, P. (2018, Mayo). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *Revista Científica de Investigación actualización del mundo de las Ciencias.*, 2(2), 72-91. 10.26820/recimundo/2.(2).2018.24-44

Venegas Sánchez, S., Orellana Bueno, D., & Pérez Jara, P. (2018, Mayo). La realidad Ecuatoriana en la producción de café. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 2(2), 72-91. <http://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/218>

Villarreal, D., Baena, L., & Posada, H. (2012). ANÁLISIS DE LÍPIDOS Y ÁCIDOS GRASOS EN CAFÉ VERDE DE LÍNEAS AVANZADAS DE *Coffea arabica* CULTIVADAS EN COLOMBIA. *Cenicafé*, 63(1), 19-40. <https://www.cenicafe.org/es/publications/2.Analisis.pdf>

Vignoli, J., Bassoli, D., & Benassi, M. (2011). Antioxidant activity, polyphenols, caffeine and melanoidins in soluble coffee: The influence of processing conditions and raw material. *Food Chemistry*, 124(3), 863-868. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.008>

Vignoli, J. A., Viegas, M. C., Bassoli, D. G., & De Toledo Benassi, M. (2014). Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity

of arabica and robusta coffees. *Food Research International*, 61, 279-285.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.006>

Volkov, V. A., & Misin, V. M. (2015). Kinetics of reactions of antioxidants from some food and medicinal plants with the stable radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. *Kinetics and Catalysis*, 56(1), 43–48.
<https://doi.org/10.1134/S0023158415010139>

Zanin, R.C., Corso, M.P. y otros tres autores, (2016) Good cup quality roasted coffees show wide variation in chlorogenic acids content, doi:10.1016/j.lwt.2016.08.012, *LWT - Food Sci. Technol.*

Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A., Dennis, D. A., & Barrow, C. J. (2006). A simple 96- well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 18(3–5), 445–450.
<https://doi.org/10.1007/s10811-006-9048-4>

Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting. En *Elsevier eBooks* (pp. 83-91).
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409517-5.00010-3>