UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIRIQUÍ
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
ESCUELA DE QUÍMICA.

Trabajo de graduación para optar al título de Licenciado en Química

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE TANINOS Y FLAVONOIDES EN EL CAFÉ (VERDE Y TOSTADO) DE ESPECIALIDAD CULTIVADO EN LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ-PANAMÁ

Presentado por:
Yino Mauricio Duque Verano
C.I.P.: 0EC-0003-00120

Asesor:
Dra. Aracelly Vega

Co- asesores:
Dr. Pedro González Beermann
MSc. Javier De León

David, Chiriquí, República de Panamá
2025

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de esta travesía y permitirme culminar la licenciatura.

A mi madre Milena Verano por su amor incondicional y su apoyo constante.

A mi padre Pablo González por enseñarme el valor del esfuerzo y la importancia de la honestidad. Este logro es tanto mío como tuyo, y te lo dedico con todo mi cariño y gratitud. Gracias por ser mi guía y mi inspiración.

A mi perro Willy por acompañarme en todas las noches de desvelo.

A mis hermanos Jonattan Duque, Diego Duque y Dairon Verano por su compañía y cariño. De igual modo a mis compañeros: Leonardo González, Shalymar Garrido, Ana Navarro, Leonor Herrera, Melanie Caballero, Melanie Montes y Joisset Quintero.

Y finalmente, a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, les extiendo mi más sincero agradecimiento.

AGRADECIMIENTO

Al Centro de Investigación en Recursos Naturales de la Universidad Autónoma de Chiriquí, en especial a su directora, la Dra. Aracelly Vega, por su disposición para asesorarme y por sus valiosas contribuciones que hicieron posible el éxito de este trabajo.

A mis coasesores, el MSc. Javier De León cuya orientación fue fundamental tanto en el inicio como en la culminación de este trabajo, y al Dr. Pedro González Beermann, por su tiempo y por sus aportes significativos en esta investigación.

A las analistas Mgtr. Stephany Reyes y Mgtr. Stepfanie Miranda, por su dedicación y paciencia al compartir sus conocimientos, guiándome en cada etapa del proceso analítico. Su apoyo y orientación fueron de mucha ayuda al realizar este trabajo, y estoy profundamente agradecido por su invaluable contribución.

A la Asociación de Cafés Especiales de Panamá por su colaboración al proporcionar las muestras de café verde y tostadas necesarias para la realización de este estudio.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA..... i

AGRADECIMIENTO ii

ÍNDICE DE FIGURAS vi

ÍNDICE DE TABLAS.....vii

RESUMEN ix

ABSTRACT xi

ASPECTOS GENERALES 1

1.1 Antecedentes del problema..... 2

1.2.1 Planteamiento del problema 5

1.3 Hipótesis 6

1.3.1. Hipótesis nula 6

1.3.2 Hipótesis alternativa 6

1.4 Objetivos..... 6

1.4.1 General..... 6

1.4.2 Específicos 6

1.5 Delimitación, Alcance o Cobertura 6

1.6 Restricciones y/o limitaciones..... 7

MARCO TEÓRICO 8

2. Generalidades del café 9

2.1 Composición química del café 10

2.2 Café de especialidad 10

2.3 Tratamientos del café 11

2.4 Composición química de los taninos y flavonoides en el café 13

2.5 Análisis químicos 15

2.6 Espectrofotometría: teoría y funcionamiento 19

2.7 Teoría de la curva de calibración 20

2.8 Teoría de límite de detección (LD) y cuantificación (LC) 20

METODOLOGÍA 22

3.1 Tipo de investigación 23

3.1.1 Definición 23

3.1.2 Justificación 23

3.2 Métodos e instrumentos de la investigación 23

3.2.1 Generalidades de las muestras 23

3.2.2 Preparación de la muestra 24

3.3 Determinación de humedad 25

3.4 Obtención del extracto acuoso del café 25

3.5 Determinación de flavonoides 25

3.6 Determinación de taninos 26

3.7 Preparación de curvas de calibración 27

3.8 Límite de detección y límite de cuantificación 28

3.9 Análisis estadístico 30

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 32

4.1 Resultados obtenidos para la construcción de las curvas de calibración 33

4.2 Limite de detección y cuantificación 36

4.3 Resultados del contenido de flavonoides y taninos en café verde y tostado ... 36

CONCLUSIONES 50

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52

ANEXOS 58

7.1 Anexos I 59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diferentes tipos de tratamientos del café. 12

Figura 2 Tratamiento de fermentación. 13

Figura 3 Taninos condensados e hidrolizados. 14

Figura 4 División de seis grupos de flavonoides. 15

Figura 5 Formación del complejo coloreado. 16

Figura 6 Reacción del Folin-Ciocalteu con los taninos para dar la coloración azul intenso 17

Figura 7 Estructura molecular del ácido tánico 18

Figura 8 Estructura molecular del estándar Catequina (CE). 19

Figura 9 Curva de calibración para la cuantificación de flavonoides, usando el estándar de catequina 34

Figura 10 Curva de calibración para la cuantificación de Taninos, utilizando el estándar de ácido tánico 35

Figura 11 Gráfico de caja y bigote para el contenido promedio de las concentraciones obtenidas de flavonoides en café tostado. 44

Figura 12 Gráfico de caja y bigote para el contenido promedio de las concentraciones obtenidas de taninos en café tostado. 45

Figura 13 Gráfico de caja y bigote para el promedio de las concentraciones obtenidas de flavonoides en café verde. 46

Figura 14 Gráfico de caja y bigote para el promedio de las concentraciones obtenidas de taninos en café verde. 47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Muestras de café verde y tostado de la variedad C.arabica..... 24

Tabla 2 Preparación de la curva de calibración de catequina para la determinación de flavonoides. 27

Tabla 3 Preparación de la curva de calibración de ácido tánico para la determinación de taninos..... 28

Tabla 4 Concentraciones de estándar de catequina para determinar el límite de detección y cuantificación en la determinación del contenido de flavonoides. 29

Tabla 5 *Concentraciones de estándar de ácido tánico para determinar el límite de detección y cuantificación en la determinación del contenido de taninos.*..... 29

Tabla 6 Lectura de absorbancias para los niveles de concentración utilizados en la construcción de la curva de calibración de catequina. 33

Tabla 7 Lectura de absorbancias para los niveles de concentración utilizados en la construcción de la curva de calibración de ácido tánico..... 34

Tabla 8 Límites de detección y cuantificación para la determinación de flavonoides y taninos..... 36

Tabla 9 *Contenido de flavonoides en café verde y tostado de C.arabica en mg equivalentes de catequina/g en base seca.* 37

Tabla 10 *Contenido de taninos en café verde y tostado de la especie C.arabica en mg equivalentes de ácido tánico/g en base seca.* 39

Tabla 11 *Prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos.* 41

Tabla 12 *Prueba de U de Mann-Whitney en la comparación del contenido de flavonoides en la variedad y tratamiento en el café verde.*..... 42

Tabla 13 *Prueba t-Student para la comparación de las medias de las concentraciones de taninos y flavonoides según la variedad y tratamiento, en el café verde y tostado.* 43

RESUMEN

El café, como muchas otras bebidas, contiene compuestos químicos naturales como los polifenoles que influyen en su sabor y características sensoriales. Uno de estos compuestos son los taninos que están asociados a un sabor astringente y amargo, si están presentes en concentraciones considerables en las bebidas o alimentos; también los flavonoides suelen asociarse con características como la acidez y un amargor suave, aportando notas afrutadas o florales a las bebidas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de taninos y flavonoides, en muestras de café de especialidad de Panamá (verde y tostado), cultivado en la provincia de Chiriquí, utilizando la técnica de espectrofotometría UV/VIS. Se analizaron un total de 123 muestras de café, de las cuales 45 correspondían a café verde y 78 a café tostado. Posteriormente, se agruparon por la variedad y tratamiento. Para la cuantificación, se consideraron parámetros como el límite de detección, el límite de cuantificación y la linealidad utilizando el método de extrapolación cero. Además, se realizaron análisis estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad, detección de datos anómalos y pruebas de U de Mann-Whitney y t de Student para la comparación de las medias. Se comprobó que el café Geisha verde, con proceso y lavado, presenta mayor concentración de taninos y flavonoides en comparación con el café Geisha tostado con proceso y lavado. Por último, se observó una diferencia estadísticamente significativa, entre las variedades Geisha lavado y tradicional lavado, ambas en su forma tostada.

Los resultados obtenidos muestran una diferencia significativa entre las concentraciones de los polifenoles en el café de especialidad (verde y tostado), con un mayor contenido de taninos y flavonoides en el café verde. Esto indica que en el tratamiento de tostado algunos compuestos polifenólicos del café verde se degradan o se convierten en otros compuestos.

ABSTRACT

Coffee, like many other beverages, contains natural chemical compounds such as polyphenols that influence its flavor and sensory characteristics. One of these compounds are tannins, which are associated with an astringent and bitter taste, if present in considerable concentrations in beverages or foods; flavonoids are also usually associated with characteristics such as acidity and a mild bitterness, providing fruity or floral notes to beverages. The objective of this research was to evaluate the content of tannins and flavonoids in samples of Panamanian specialty coffee (green and roasted), grown in the province of Chiriqui, using the UV/VIS spectrophotometry technique. A total of 123 coffee samples were analyzed, of which 45 corresponded to green coffee and 78 to roasted coffee. Subsequently, they were grouped by variety and treatment. For quantification, parameters such as limit of detection, limit of quantification and linearity were considered using the zero extrapolation method. In addition, descriptive statistical analyses, normality tests, anomalous data detection, and Mann-Whitney U and Student's t-tests were performed for comparison of means. It was found that green Geisha coffee, with processing and washing, has a higher concentration of tannins and flavonoids compared to roasted Geisha coffee with processing and washing. Finally, a statistically significant difference was observed between the washed and traditional washed Geisha varieties, both in their roasted form.

The results obtained show a significant difference between the concentrations of polyphenols in specialty coffee (green and roasted), with a higher content of tannins and flavonoids in green coffee. This indicates that in the roasting treatment some polyphenolic compounds of green coffee are degraded or converted into other compounds.

CAPÍTULO 1.

ASPECTOS GENERALES

1.1 Antecedentes del problema

Actualmente el café es uno de los rubros más importantes en el mercado internacional, su bebida es conocida y consumida a nivel mundial. Diversos estudios han demostrado que el consumo de café reduce el riesgo de enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer, debido a sus compuestos bioactivos (Rufino et al., 2021). La calidad del café se ve influida por sus compontes químicos como los polifenoles, los cuales pueden afectar negativamente o positivamente la bebida (Suárez Cunza et al., 2020).

A partir de la década de 1945, los compuestos polifenólicos (CPF) comenzaron a ganar interés en diversos campos de investigación como la ecología, la agricultura, la alimentación y la medicina (Olivas-Aguirre et al., 2015a). En la década de 1950, hubo un avance significativo en la ciencia, permitiendo desarrollar una línea de conocimiento y aplicación con gran potencial en el ámbito de los alimentos, utilizando los polifenoles de origen vegetal (Cutrim y Cortez, 2018). Este progreso ha sido acompañado por un reconocimiento público que ha incentivado el consumo y producción de productos esenciales como frutas, verduras y semillas. Entre los polifenoles se encuentran subgrupos, como los taninos y flavonoides, mismos que son conocidos por sus propiedades antioxidantes.

Los taninos son compuestos químicos naturales que le dan un sabor astringente y amargo a los alimentos o bebidas, los cuales se encuentran en concentraciones considerables, como es el caso, por ejemplo, del vino, el café, las manzanas y espinacas (Fraga-Corral et al., 2021). Se dividen en dos categorías: taninos hidrolizables (HT), que consisten en polímeros heterogéneos que se forman a

partir de ácidos fenólicos, en particular ácido gálico y azúcares, los que poseen un menor peso molecular que los taninos condensados, los cuales están formados por unidades de flavonoides, como las catequinas, que se unen entre sí formando polímeros. Estos últimos poseen las principales propiedades medicinales atribuidas a los taninos (Olivas-Aguirre et al., 2015b).

Por otro lado, los flavonoides son una gran familia de los compuestos fenólicos o polifenoles y comprende más de 6000 estructuras diferentes, son compuestos naturales presentes en muchas frutas, verduras, té, vino tinto, y otros alimentos. Son conocidos por sus beneficios para la salud, debido a sus propiedades antioxidantes, que neutralizan los radicales libres, protegiendo contra el envejecimiento y enfermedades crónicas. Mejoran la salud cardiovascular, reducen la inflamación y fortalecen el sistema inmunológico (Rasouli et al., 2017).

En los últimos años, los investigadores se han interesado por el uso de plantas ricas en taninos por sus propiedades antioxidantes (Tong et al., 2022). En el caso de los flavonoides, están asociados a importantes efectos biológicos y actividades que son beneficiosas para la salud (Rufino et al., 2021). Por otro lado, realizaron una investigación donde determinaron el contenido de taninos en las hojas del *C.arabica L,* utilizando la misma especie, pero en diferentes estructuras vegetativas como las hojas, evaluaron que los efectos del procesado en seco y la madurez sobre la actividad antioxidante, modifica el contenido de taninos en las hojas (Ngamsuk et al., 2019). En este estudio se evaluó específicamente la semilla del café.

Prihadi et al., (2020), realizó una investigación utilizando la cascara del café para evaluar el porcentaje de taninos y se determinó que contiene 10,05%.

Por otro lado, Haile y Kang, (2019), determinaron el contenido de taninos presentes en el café con tratamiento de fermentado y concluyeron que a mayor tiempo de fermentado, la cantidad de taninos disminuye. Ormaza-Zapata et al., (2019) evaluaron el contenido de flavonoides totales presentes en el café, preparado con diferentes métodos, concluyendo que usando el método de expreso se incrementó la concentración de flavonoides en comparación con moka y Staresso.

Por otra parte, Górecki y Hallmann (2020), encontraron que, en el café con un tostado medio, tras una infusión de 3 minutos, aumenta la concentración de flavonoides totales en comparación con una infusión más prolongada.

En Panamá, Vega et al., (2017), analizaron el contenido de flavonoides en 34 cafés comerciales de Panamá. En sus resultados, reportaron que la concentración de flavonoides en café puros, oscilaba entre 22.16 y 38.29 esto en mg/ equivalente de catequina/g y en cafés mezclado está entre 9.36 y 14.92 mg/equivalente de catequina/g. Es importante mencionar, que no se encontró información documentada sobre el contenido de taninos en el café de Panamá.

Una de las finalidades de esta investigación es aportar datos suficientes que sirvan como una línea base para futuros estudios, acerca del café de especialidad de Panamá, evaluando el contenido de taninos y flavonoides en café verde y tostado, cultivado en la provincia de Chiriquí. Evaluando la cantidad de estos compuestos químicos presentes en el café de especialidad.

1.2 Situación actual del problema

La creciente demanda de café de especialidad en el mundo, ha impulsado a los productores a someter el café a diversos tratamientos para mejorar su calidad

sensorial. La calidad del café puede verse influenciada por múltiples factores, como el clima, la altitud, la variedad, los métodos de manipulación postcosecha y la fermentación, los cuales pueden modificar el contenido de sustancias bioactivas, como las que se evaluaron en esta investigación, que se encuentran presentes en el café. Con controles rigurosos durante estos tratamientos, es posible obtener un café de alta calidad.

1.2.1 Planteamiento del problema

Se sabe que los compuestos fenólicos presentes en el café son responsables de la pigmentación, formación del aroma y la astringencia del café (Farah et al., 2006). Los taninos y flavonoides son compuestos bioactivos con importantes propiedades antioxidantes. En Panamá, se cuenta con poca información científica sobre el contenido de estos compuestos, lo que pone en desventaja competitiva a nuestros productores frente a la competencia internacional.

El café ha desempeñado un papel muy importante a lo largo de la historia, ya que ha contribuido al desarrollo socioeconómico tanto en el mercado interno como en el externo (Cerquera Losada et al., 2020). Debido al reciente aumento en la demanda de los cafés de especialidad de Panamá, se han generado muchas oportunidades para competir en los mercados internacionales con cafés de características únicas (Martha Ordóñez, 2019).

El propósito de esta investigación es evaluar las cantidades presentes de estos compuestos bioactivos del café, expandiendo el conocimiento y el potencial de estas variedades de café.

1.3 Hipótesis

1.3.1. Hipótesis nula

Ho: No hay diferencia significativa, en el contenido de taninos y flavonoides en el café de especialidad (verde y tostado), cultivado en la provincia de Chiriquí.

1.3.2 Hipótesis alternativa

H1: Hay diferencia significativa, en el contenido de taninos y flavonoides en el café de especialidad (verde y tostado), cultivado en la provincia de Chiriquí.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Evaluar el contenido de taninos y flavonoides en café de especialidad, verde y tostado, producido en la provincia de Chiriquí.

1.4.2 Específicos

- Obtener el contenido de flavonoides y taninos en café de especialidad, verde y tostado, de diferentes variedades.
- Comparar el contenido de flavonoides y taninos en café de especialidad verde y tostado.
- Comparar el contenido de flavonoides y taninos en café de especialidad, verde y tostado, analizando las diferencias según el tratamiento y variedad.

1.5 Delimitación, Alcance o Cobertura

Este estudio se realizó en el Centro de Investigación en Recursos Naturales de la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI). Se utilizaron 78 muestras de café

tostado y 45 de café verde de la especie *Coffea arabica,* provenientes de diferentes fincas, ubicadas en los distritos de Renacimiento, Tierras Altas y Boquete.

Esta investigación es de tipo cuantitativa, consistió en la evaluación de taninos y flavonoides utilizando el espectrofotómetro UV/VIS. El procedimiento experimental incluyó la preparación de muestras y su análisis mediante la medición de absorbancia a longitudes de onda específicas para identificar y cuantificar los compuestos presentes.

Esta investigación se enfoca en generar conocimientos sobre el contenido de taninos y flavonoides en el café de especialidad, tanto en su estado verde como tostado, cultivado en la provincia de Chiriquí. A través del análisis de estos compuestos, se espera aportar información valiosa sobre las características bioactivas de este tipo de café.

1.6 Restricciones y/o limitaciones

La obtención de las muestras de café de especialidad, es un proceso riguroso debido a las restricciones asociadas a su producción y comercialización, ya que este café se cultiva en pequeñas cantidades y el precio es elevado, la adquisición de estas muestras requiere una coordinación con productores locales para garantizar de que no se comprometa la calidad del producto durante su manejo y análisis, lo cual representa una limitación en la investigación.

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2. Generalidades del café

El café (*Coffea arabica L.)* es un arbusto que pertenece a la familia de las *Rubiaceae,* la cual cuenta aproximadamente con 500 géneros y más de 6000 especies. Dentro de este género *Coffea* se destacan dos especies que son las más comercializadas, *Coffea arabica* en conjunto con *Coffea Canephora, que* fue descrito por primera vez por Linneo en 1753 y el *Coffea canephora* por Louis Pierre en 1895 (International Coffee Organization, 2024)*.* Son las únicas especies que son ampliamente cultivadas en todo el mundo (Melese y Kolech, 2021). Actualmente el café es uno de los productos más importantes en el mercado internacional, es una bebida conocida a nivel mundial, se consume por millones de personas por día, desarrolla un papel importante en la agricultura, como producto de exportación, generando ingresos para el desarrollo socioeconómico (Siregar et al., 2019). La exportación del café a nivel mundial genera alrededor de 10 a 12 mil millones de dólares anuales para los principales productores y generando empleo para unos 20 o 25 millones de personas, que cultivan, procesan, distribuyen y comercializan el producto (Melese y Kolech, 2021). En los años 2020 y 2021, las exportaciones de arábica ascendieron a 4,8 millones de toneladas, mientras que las exportaciones de robusta ascendieron a 2,9 millones de toneladas. El café se cultiva en más de 80 países (Chen et al., 2023). La producción de café está determinada por varios factores que afectan tanto la cantidad como la calidad del producto final.

La calidad del café está influenciada por el genotipo, condiciones ambientales, factores en el sistema de producción, aspecto físico, composición química de los granos (verdes o tostados).

El tratamiento del tostado puede ocasionar la degradación de algunos compuestos, afectando el olor y el sabor en la bebida de café (Suárez Cunza et al., 2020). El café cuenta con dos clasificaciones según la calidad del grano como especial y comercial (Specialty Coffee Association, 2019).

2.1 Composición química del café

El café está formado por una mezcla compleja de compuestos químicos, algunos de los componentes principales son: carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides, polifenoles, minerales, aceites esenciales y azúcares. Esta combinación de compuestos, es lo que otorga al café su compleja gama de sabores, aromas, cuerpo y propiedades saludables (Janissen Y Huynh, 2018).

2.2 Café de especialidad

El café de especialidad se elabora con granos de alta calidad, estos poseen pocos defectos y un tamaño adecuado, se considera como tal cuando alcanza una puntuación superior a 80 puntos sobre 100 en la bebida (taza). El proceso de evaluación es parcialmente empírico, en el que catadores entrenados evalúan la bebida en función de sus percepciones gustativas y olfativas, obteniendo una puntuación final, donde se toman en cuenta 10 atributos. Es importante mencionar que en el tratamiento de tostado se desarrolla el aroma y el sabor, dos de los parámetros clave en el análisis sensorial (Specialty Coffee Association, 2019). Este aspecto cobra relevancia, ya que sea ha reportado un aumento en el consumo de café de especialidad, como lo menciona la Organización Internacional del Café, donde proyectaron un aumento del 1,7 % en el consumo mundial, alcanzando 178,5 millones de sacos de 60 kg para el período 2022/23. Aunque el mercado del café de

especialidad es significativamente menor en comparación con el del café convencional, su consumo está incrementándose a un ritmo más acelerado (Wensma, 2023).

Desde 2004, Panamá se ha convertido en un país de referencia en la producción de café de especialidad, destacándose especialmente por su variedad Geisha, que es muy apreciado a nivel mundial por sus cualidades únicas. Panamá se dio a conocer a nivel mundial cuando participó en la subasta “Best of Panamá” en el año 2004 (Cafe unido, 2024). Este hallazgo catapultó la reputación del café Geisha, atrayendo la atención de todas las partes del mundo; este café ha alcanzado precios récord en subastas y es ampliamente utilizado en competencias internacionales de café.

Además del Geisha, Panamá produce una variedad de cafés tradicionales de alta calidad, como typica, Catuai, Caturra, Maragogype, Bourbon y Pacamara. Las condiciones ambientales que posee Panamá, son ideales para el cultivo del café. Su taza destaca por sus aromas frutales, jazmín y melocotón. Estas características lo han introducido en el mercado mundial de especialidades, se ofertó la libra en 4,538.19 dólares en la plataforma de Best of Panamá en el año 2023 (World Coffee Research, 2024).

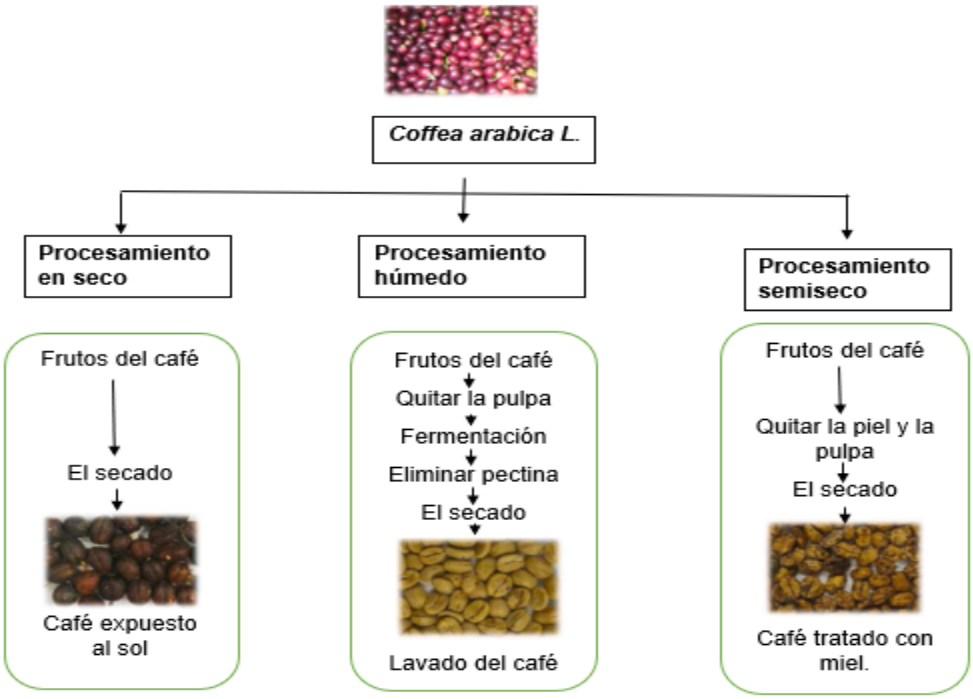
2.3 Tratamientos del café

El tratamiento del café involucra varios métodos, cada uno con características y efectos distintos en el sabor final del grano. Uno de los métodos es el tratamiento natural, en el que se conserva la cereza de café junto con la semilla y se seca al sol. Este tratamiento requiere condiciones climáticas específicas, como temperaturas

cálidas y bajos niveles de humedad, para garantizar un secado adecuado. Con respecto al tratamiento de lavado, este implica una fermentación natural en la que se elimina el mucílago mediante el uso de agua. Por otro lado, el tratamiento semilavado omite la etapa de fermentación natural. En lugar de ello, el mucílago se retira mecánicamente mediante una máquina (Firdissa et al., 2022).

Figura 1

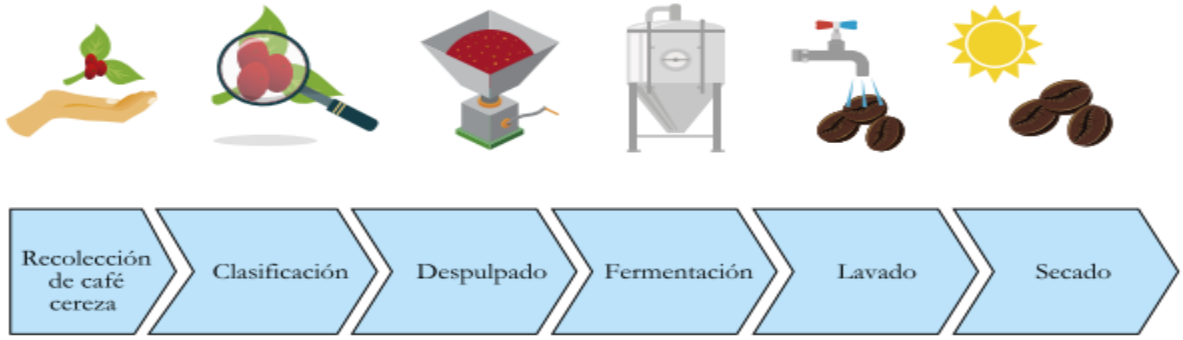
Diferentes tipos de tratamientos del café.



Nota. Se describen los tratamientos de secado, lavado y tratado con miel. Fuente: Wan et al., (2024), con algunas modificaciones.

Figura 2

Tratamiento de fermentación.



Nota. Etapas del tratamiento de fermentación. Fuente: Castillo Landinez et al., (2019).

Durante la fermentación en el tratamiento de beneficiado húmedo básico, las cerezas de café frescas se despulpan y luego se sumergen en agua para fermentar. Posteriormente, el tanque de fermentación se vacía y los granos se lavan con agua para eliminar cualquier residuo de mucílago. La calidad del café depende del protocolo utilizado en la fermentación y consigo el desarrollo en la microbiota. Si la fermentación es excesiva, se generan compuestos químicos indeseables como los ácidos propiónico y butírico, que pueden aportar sabores desagradables, como el de cebolla (Haile y Kang, 2019).

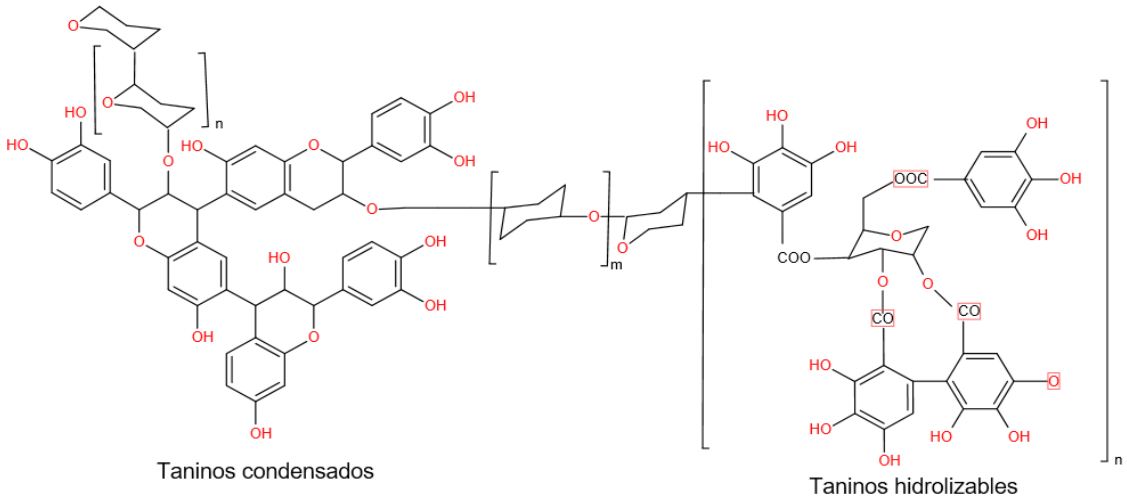
2.4 Composición química de los taninos y flavonoides en el café

Los taninos son compuestos fenólicos, provenientes de metabolitos secundarios de las plantas, que pueden ser ésteres del ácido gálico o sus derivados, unidos a diversos oligómeros y polímeros de proantocianidinas, se encuentran presentes en la corteza, tallos, madera, hojas, frutos y raíces de las plantas (Olivas-Aguirre et al., 2015). Su función es formar enlaces con las proteínas, estos se dividen

en dos categorías, hidrolizable y condensados, la diferencia de estos grupos se basa en aspectos químicos, como la estabilidad química y la resistencia a la hidrólisis (Marrone et al., 2024). Las procianidinas (taninos condensados) se componen por unidades de flavan-3-ol, como (+)-catequina y (-).-epicatequina, unidas por enlaces interflavanos C4-C8 o C4-C6. Pueden ser oligómericas o poliméricas (Ngamsuk et al., 2019). También los taninos hidrolizables son valiosos para eliminar los efectos secundarios de varios productos quimioterapéuticos. Se demostró sus efectos reales donde se identificó y se cuantificó en diversas enfermedades, desde sus acciones anticancerígenas, bactericidas y antinflamatorias (Pizzi, 2021).

Figura 3

Taninos condensados e hidrolizados.



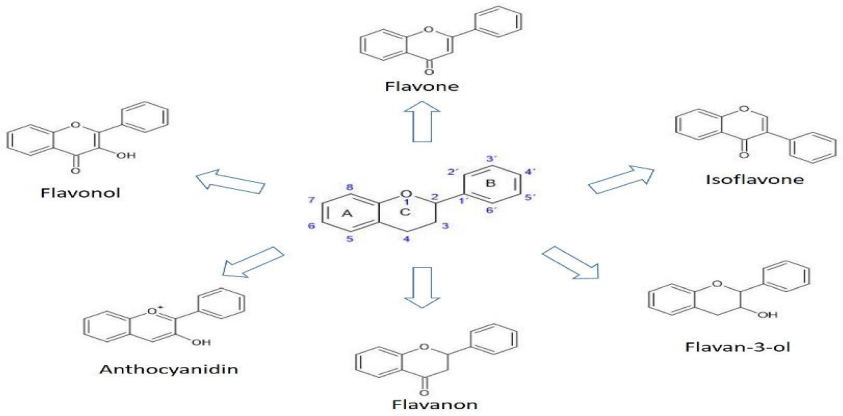
Nota. Estructura molecular de los taninos condensados e hidrolizados. Fuente: Pizzi (2021) con algunas modificaciones.

Por otro lado, los flavonoides son una gran familia de los compuestos fenólicos o polifenoles y comprende más de 6000 estructuras diferentes, los flavonoides pueden dividirse en seis grupos: flavonoles, flavonas, flavan-3-oles, flavanonoles, flavanonas,

isoflavonas y antocianinas, que difieren en el patrón de su anillo central heterocíclico de pirano de la estructura central del flavan (Dias et al., 2021).

Figura 4

División de seis grupos de flavonoides.



Nota. Diferentes estructuras de los flavonoides. Fuente. Dias et al., (2021).

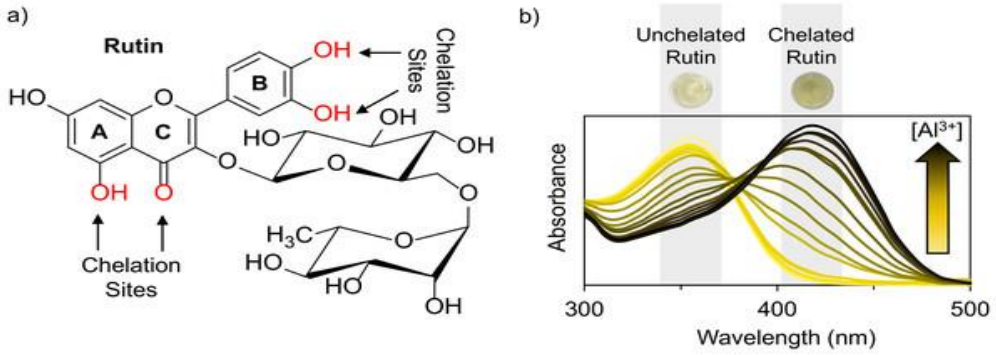
Las propiedades organolépticas y antioxidantes del café, están influenciadas por los flavonoides que se encuentran en las hojas y las cerezas (Balentine et al., 1997). En el ámbito de la química, los análisis químicos desempeñan un papel crucial, ya que permiten identificar, cuantificar y caracterizar los componentes de una muestra.

2.5 Análisis químicos

El método para determinar los flavonoides consiste en la quelación del aluminio formando complejos coloreados, como rojo o amarillo, que se pueden cuantificar por espectrofotometría, la cual es una técnica útil y específica que ofrece varias ventajas en términos de simplicidad y sensibilidad, sus limitaciones en cuanto a interferencias, condiciones de reacción, y cuantificación relativa. (Arnold et al., 2022).

Figura 5

Formación del complejo coloreado.

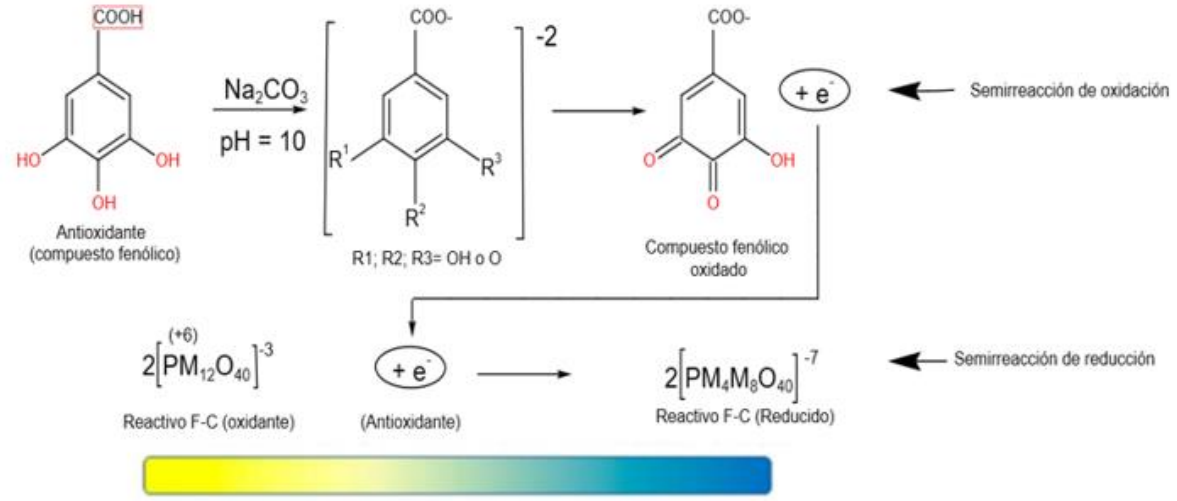


Nota. Proceso de síntesis para la formación del complejo, utilizado para la determinación de los flavonoides. Fuente: Arnold et al., (2022).

En el método para la determinación de taninos, el reactivo Folin-Ciocalteu´s reacciona con agentes reductores como los antioxidantes (Taninos) para formar un complejo de color azul intenso, los polifenoles más importantes se distinguen por la presencia de un grupo funcional fenol, éste consiste en un grupo Hidroxilo que está directamente unido a un anillo aromático, la actividad antioxidante se ve fuertemente afectada por las características estructurales de los compuestos fenólicos (Pérez et al., 2023). En la determinación de taninos, una de las desventajas de este reactivo es que puede reaccionar con otros compuestos presentes en las muestras como el pirogalol, se utiliza, ya que es una herramienta valiosa por su sencillez, rentabilidad y sensibilidad (Torres et al., 2024).

Figura *6*

Reacción del Folin-Ciocalteu´s con los taninos para dar la coloración azul intenso



Nota. Esta reacción química en necesaria para cuantificar la muestra en el espectrofotómetro. Fuente: Pérez et al., (2023).

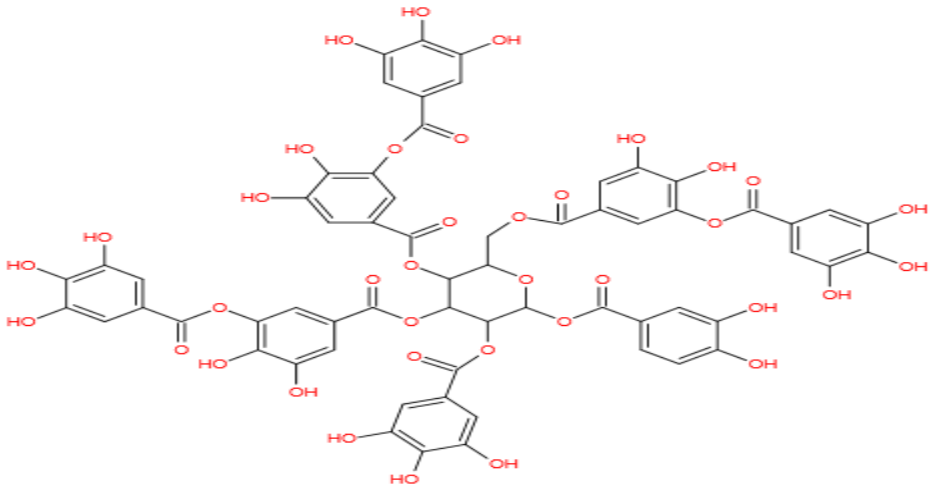
En los análisis de los polifenoles, el uso de estándares como el ácido tánico y la catequina, es esencial para garantizar la precisión en la identificación y cuantificación de estos compuestos. Estos estándares actúan como referencias que permiten calibrar los métodos analíticos, asegurando resultados confiables y comparables en la caracterización de muestras ricas en polifenoles.

Los polifenoles vegetales fueron uno de los primeros temas en ser investigados, cuando comenzó la ciencia moderna, estos se pueden encontrar en casi todas las plantas y se encuentra estrechamente relacionados con la vida cotidiana de las personas, donde estrictamente los taninos pertenecen a los polifenoles, pero los polifenoles no son necesariamente taninos vegetales (Yan et al., 2020). El ácido tánico es un tipo de tanino, un compuesto orgánico de origen vegetal que pertenece al grupo

de los polifenoles. Este ácido es soluble en agua y se encuentra comúnmente en diversas plantas, incluyendo cortezas de árboles, nueces y algunos frutos.

Figura 7

Estructura molecular del ácido tánico

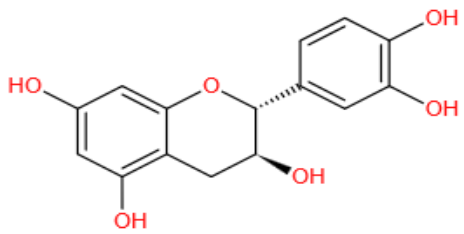


Fuente: Yanet al., (2020), con algunas modificaciones.

La catequina es un polifenol natural, se encuentra en varios productos nutricionales donde se ha reportado sus propiedades beneficiosas como neuro protector, antiinflamatorio, antidiabético y antibacteriano.

Figura 8

Estructura molecular del estándar Catequina (CE).



Fuente:Fornasier et al., (2021), con algunas modificaciones.

La aplicación de este antioxidante conlleva un desafío debido a su corta vida media in vivo y a su vez la baja biodisponibilidad después de su administración oral (Fornasier et al., 2021). Estos pueden ser cuantificados utilizando la técnica analítica de espectrofotometría, mediante interacción de la luz con las sustancias químicas, proporcionando información sobre su concentración.

2.6 Espectrofotometría: teoría y funcionamiento

La espectrofotometría es una de las técnicas más utilizadas para la determinación cualitativa y cuantitativa de compuestos orgánicos e inorgánicos. Su principio se basa en medir la longitud de onda y la intensidad de la luz ultravioleta y visible que es absorbida por una muestra. La absorción de radiación genera la excitación de electrones, que pasan de un estado fundamental a uno excitado en grupos funcionales conocidos como cromóforos. Los datos generados por esta absorción se registran mediante el espectrofotómetro UV-VIS. No se han realizado muchas investigaciones que estudien y describan en detalle los análisis de datos espectrales UV-VIS, para determinar la estructura química de los compuestos (Pratiwi y Nandiyanto, 2022).

Las industrias necesitan métodos simples y rápidos que sirvan para la evaluación de matrices complejas. Hay diversidad de métodos disponibles como la espectrofotometría UV-VIS. Esta se caracteriza por su simplicidad, precisión y rapidez para calcular la conjugación de moléculas aromáticas y dobles enlaces en diferentes moléculas. Un analista puede utilizar esta técnica para el análisis rápido de múltiples muestras, incluidos líquidos y sólidos (Mukherjee et al., 2021).

2.7 Teoría de la curva de calibración

Las curvas de calibración representan la respuesta de un método, el cual tiene concentraciones conocidas de un analito que se realiza por un instrumento conocido como espectrofotómetro, el cual mide la absorbancia de la luz, que es proporcional a la cantidad del analito analizada. Se realiza con disoluciones que contienen concentraciones conocidas de un analito llamadas disoluciones patrón o estándar. Las disoluciones que contienen los reactivos y a su vez los disolventes usados en el análisis, que no contienen el analito, son llamadas disoluciones blanco. El blanco mide la respuesta del procedimiento analítico a las impurezas o interferentes que existan en los reactivos. La pendiente de la curva es el cambio en la variable dependiente (señal) con respecto a la variable independiente (concentración). Intercepto en Y es el valor de la variable dependiente (Y) cuando la variable independiente (X) es igual a cero. Ecuación lineal de la forma y=mx+ b. Coeficiente determinación (R^2) es una medida de poder observar los datos como se ajustan a la curva. (Daniel C. Harris, 2016).

2.8 Teoría de límite de detección (LD) y cuantificación (LC)

El límite de detección (LD) instrumental es la concentración mínima de un elemento que genera una relación señal/ruido de 3. Esto implica que el límite de

detección toma en cuenta tanto la intensidad de la señal como el nivel de ruido del fondo, y representa la concentración más baja que puede diferenciarse claramente del valor cero (Quino et al., 2007). El límite instrumental de cuantificación (LC) se define como la cantidad mínima de un analito que el instrumento puede medir de manera confiable. Por lo general, se establece que este límite corresponde a una señal equivalente a 10 veces la desviación estándar del blanco, siendo conocido como el límite de cuantificación o límite de determinación (Quino et al., 2007).

CAPÍTULO 3.

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

3.1.1 Definición

Esta investigación es de tipo cuantitativo, ya que en la misma se evaluó el contenido de taninos y flavonoides en café de especialidad (verde y tostado) de la variedad *C. arabica,* utilizando espectrofotometría de ultravioleta visible.

3.1.2 Justificación

La espectrofotometría es altamente usada en alimentos, esta técnica tiene amplios beneficios donde se incluye su facilidad de uso, tiempo de respuesta, bajo costo por muestra y cuantificación, es una herramienta útil en la industria del café para analizar y controlar diversos aspectos relacionados con su calidad, ya que, el café de especialidad de Panamá es muy cotizado debido a su alta excelencia, destacando por sus sabores únicos convirtiéndolo en un producto exclusivo y valorado por los consumidores. En Panamá, existe poca información sobre los taninos y flavonoides presentes en el café de especialidad, lo que resalta la necesidad de generar más conocimientos sobre la composición química y la calidad del café producido en el país. Por lo tanto, en los últimos años, ha crecido el interés por la incorporación de antioxidantes en productos alimenticios y farmacéuticos, debido a su asociación con efectos positivos que son beneficiosos para la salud, frente a enfermedades relacionadas con la oxidación (Christodoulou et al., 2022).

3.2 Métodos e instrumentos de la investigación

3.2.1 Generalidades de las muestras

Las muestras de café verde y tostado utilizadas en esta investigación corresponden a la variedad *C. arabica* y fueron suministradas por la Asociación de

Café de Especialidad de Panamá (SCAP). La procedencia de estas muestras corresponde a los distritos de Renacimiento, Boquete y Tierras Altas, además proceden de los lotes participantes en el evento de catación internacional Best of Panamá del año 2019.

Se utilizaron 123 muestras de café y fueron clasificadas como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Muestras de café verde y tostado de la variedad C.arabica.

	Muestras	Tipo de Tratamiento	Cantidad de muestras
Café tostado	Tradicional	Lavado	16
	Geisha	Lavado	38
	Geisha	Proceso	24
Café verde	Tradicional	Lavado	2
	Tradicional	Proceso	8
	Geisha	Lavado	17
	Geisha	Proceso	18

3.2.2 Preparación de la muestra

Las muestras fueron molidas con un micromolino (Thomas Scientific, 3383-L30) y tamizada utilizando un Mesh #20. Luego a las muestras se les asignó un código y se guardaron en bolsas con cierre hermético a una temperatura de -18℃ hasta el análisis.

3.3 Determinación de humedad

La determinación de humedad y materia seca se realizó por triplicado de acuerdo al método AOAC 934.01. Para ello, se utilizó un 1 gramo de la muestra de café molido y se colocó en el horno a 105 ℃ hasta peso constante (AOAC, 2010).

El cálculo de la humedad y la materia seca se realizó con las siguientes fórmulas:

$$\text{Materia seca (\%)} = \frac{Muestra\ seca\ (g)\ a\ 105℃}{Muestra\ inicial\ (g)} \text{ x 100\%.}$$

$$\text{Humedad} = 100 - (\%\ materia\ seca)$$

3.4 Obtención del extracto acuoso del café

Se pesaron 0.5 gramos de café molido (verde y tostado) y se le añadió 50 mL de agua desionizada a 90°C, luego se colocó en un plato caliente, con una temperatura constante a 90°C por 5 minutos. Se dejó enfriar por aproximadamente 15 minutos y el contenido se transfirió a tubos falcón de 50 mL, se llevó a centrifugar a 5000 rpm por 5 minutos, por último, se transfirió el líquido a un matraz volumétrico de 50 mL y se añadió agua desionizada hasta el aforo. El extracto se guardó en frascos ámbar y fueron realizados por triplicado.

3.5 Determinación de flavonoides

Se utilizó la metodología propuesta por Vega et al., (2017).

Los flavonoides se determinaron mezclando 600 µL del extracto de café con 2.58 mL de una solución A, compuesta por 1.8 mL de $NaNO_2$ al 5% y 24 mL de agua. La mezcla se dejó reposar durante 5 minutos, luego se le añadió 180 µL de $AlCl_3$ al 10% y se dejó en reposo por 1 minuto. Posteriormente, se añadió 2.52 mL de una

solución B, formada por 12 mL de NaOH 1M y 14.4 mL de agua y por último se leyó de inmediato en un espectrofotómetro UV/VIS (PG Instruments Ltd, modelo T70+ UV/VIS Spectrometer) a una longitud de onda de 415 nm. Para la cuantificación de los flavonoides se realizó una recta calibración utilizando un estándar de catequina en un rango de 200 a 600 mg/L y los resultados fueron expresados mg equivalente CE/g en base seca utilizando la formula:

%MS= materia seca

3.6 Determinación de taninos

Se utilizó la metodología 952.03 (AOAC, 2010).

Previo al análisis de taninos, se preparó una solución de carbonato de sodio saturado (35%), pesando 35 gramos de carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3) y luego se le adicionó 100 mL de agua, posteriormente se calentó la solución a una temperatura entre 70-80 ℃ y se dejó enfriar toda la noche. Luego la disolución se sobresaturó con carbonato de sodio decahidratado ($Na_2CO_3{}^*H_2O$) y después de la cristalización se filtró a través de papel filtro Whatman cualitativo 1.

Para la determinación del contenido de taninos, se tomó una alícuota de 0.1 mL del extracto de café y se transfirió a un volumétrico de 10 mL, donde se le adicionó 7.5 mL de agua desionizada, 500 µL de Folin-Ciocalteu`s 1N y 1 mL de carbonato de sodio sobresaturado y se aforó con agua hasta la marca. Se dejó incubar por 30 minutos y se leyó en el espectrofotómetro a una longitud de 760 nm. Para la cuantificación de los taninos, se realizó una recta de calibración utilizando un estándar de ácido tánico en un rango de 100 a 600 mg/L y los resultados fueron expresados mg equivalentes de ácido tánico/g en base seca utilizando la formula:

Concentración. (mg equivalentes de Ác.Tánico/g) = $\frac{Conc.\left(\frac{mg}{L}\right) * Volumen\ extracto\ (L)}{Peso\ muestra\ (g) * (\frac{\%MS}{100\%})}$

%MS= materia seca

3.7 Preparación de curvas de calibración

Las curvas de calibración se elaboraron utilizando el método de estándar externo, el cual implica preparar una solución stock, realizar diluciones con concentraciones conocidas del analito, registrar la respuesta del instrumento para cada dilución y, finalmente, graficar estos datos para generar la curva de calibración (Cisneros et al., 2021).

Para la cuantificación de flavonoides se elaboró una curva de calibración utilizando catequina en un rango de 200 a 600 mg/L a partir de una solución stock de 1000 mg/L. En la Tabla 2 se muestran los 5 niveles de concentración utilizados y las alícuotas empleadas en la preparación de estos niveles.

Tabla 2

Preparación de la curva de calibración de catequina para la determinación de flavonoides.

Catequina			
Nivel	Concentración (mg/L)	Alícuota (mL)	Volumen final (mL)
1	200	2	10
2	300	3	10
3	400	4	10
4	500	5	10
5	600	6	10

Para la cuantificación de taninos se elaboró una curva de calibración utilizando ácido tánico en un rango de 100 a 600 mg/L a partir de una solución stock de 1000 mg/L. En la Tabla 3 se muestran los 5 niveles de concentración utilizados y las alícuotas empleadas en la preparación de estos niveles.

Tabla 3

Preparación de la curva de calibración de ácido tánico para la determinación de taninos.

Ácido Tánico			
Nivel	Concentración (mg/L)	Alícuota (mL)	Volumen final (mL)
1	100	1	10
2	150	1.5	10
3	200	2	10
4	250	2.5	10
5	600	6	10

Todos los niveles de concentración utilizados para la curva de calibración de catequina y ácido tánico fueron preparados por triplicado.

3.8 Límite de detección y límite de cuantificación

Para la evaluación de la sensibilidad de los métodos empleados en la cuantificación de los flavonoides y taninos en café, se calculó el (LD) y (LC) para cada curva de calibración construida. Para ello, se empleó el método basado en la extrapolación de la curva de calibración a concentración cero (A.E.F.I, 2001). Se prepararon 3 niveles de concentración por debajo del nivel más bajo de la recta de calibración; cada nivel se hizo por triplicado.

Tabla 4

Concentraciones de estándar de catequina para determinar el límite de detección y cuantificación en la determinación del contenido de flavonoides.

Catequina			
Nivel	Concentración (mg/L)	Alícuota (mL)	Volumen final (mL)
1	20	0.2	10
2	30	0.3	10
3	40	0.4	10

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones utilizadas para la elaboración de los LD y LC teóricos para la determinación de los flavonoides en las muestras de café tostado y verde.

Tabla 5

Concentraciones de estándar de ácido tánico para determinar el límite de detección y cuantificación en la determinación del contenido de taninos.

Ácido Tánico			
Nivel	Concentración (mg/L)	Alícuota (mL)	Volumen final (mL)
1	20	0.2	10
2	30	0.3	10
3	40	0.4	10

En la Tabla 5 se muestra las concentraciones utilizadas para la obtención de los LD y LC teóricos para la determinación del contenido de taninos en las muestras de café verde y tostado.

Para obtener los LD Y LC se graficó la concentración vs área, y se utilizó la ecuación de la recta y en ella se sustituyó X=0, donde el valor obtenido correspondía a la señal del blanco (Ybl). De igual modo, se graficó concentración vs desviación estándar, se utilizó la ecuación de la recta y se sustituyó X=0, donde el valor obtenido

correspondía a la desviación estándar del blanco (Sbl). Posteriormente se procedió a calcular (LD) y (LC) teóricos, utilizando las siguientes fórmulas:

LD=Ybl + 3*Sbl/b*raíz (3)

LC=Ybl + 10*Sbl/b*raíz (3)

3.9 Análisis estadístico

Se calculó el rango de concentraciones, concentración promedio y la desviación estándar para las concentraciones de flavonoides y taninos obtenidas en las muestras de café de especialidad verde y tostado. Para la detección de valores atípicos se aplicó el test Grubbs. Luego, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, una herramienta estadística que permite determinar si un conjunto de datos sigue una distribución normal. Para determinar si existía diferencia significativa en el contenido de flavonoides y taninos por efecto de la variedad, del tratamiento y si el café era verde o tostado, se aplicaron las pruebas de t-studen y U de Mann-Whitney. Estos análisis estadísticos se realizaron utilizando Microsoft Excel y Past Version 4.13.

Para el estadístico U de Mann-Whitney para comparar dos grupos independientes sin asumir normalidad de los mismos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1$$

n_1 = Tamaño de la primera muestra.

$n_2 =$ Tamaño de la segunda muestra.

$R_1 =$ Suma de los rangos asignados a los valores de la primera muestra.

Para el estadístico t para comparar las medias de dos grupos se utilizó la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{X}1 - \bar{X}2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

$\overline{X}_1$ = Valor medio del primer grupo

$\overline{X}_2$ = Valor medio del segundo grupo

n_1 = Tamaño del primer grupo

n_2 = Tamaño del segundo grupo

S_1 = Desviación típica del primer grupo

S_2 = Desviación típica del segundo grupo

CAPÍTULO 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados obtenidos para la construcción de las curvas de calibración

La Tabla 6 muestra los resultados de las absorbancias obtenidas para los distintos niveles de concentración utilizados en la construcción de la curva de calibración de catequina.

Tabla 6

Lectura de absorbancias para los niveles de concentración utilizados en la construcción de la curva de calibración de catequina.

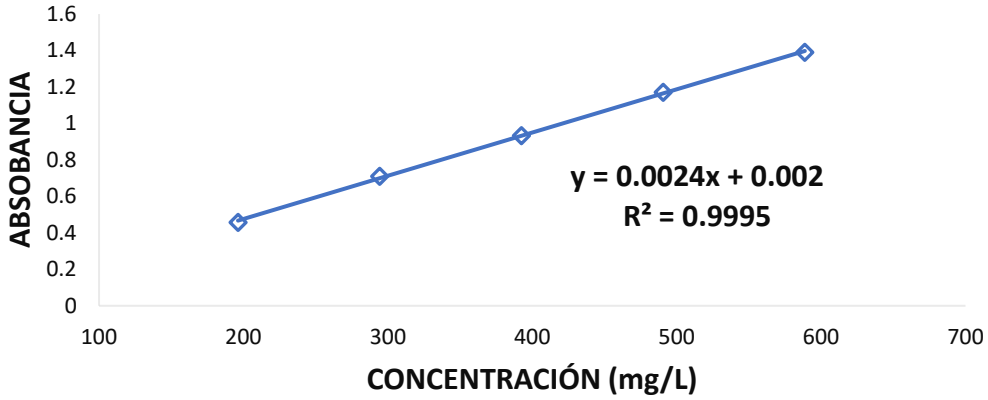
Nivel	Concentración teórica de estándar catequina (mg/L).	Lecturas de absorbancias				S
		Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio	
1	200	0.461	0.452	0.460	0.458	0.005
2	300	0.700	0.709	0.721	0.710	0.011
3	400	0.954	0.925	0.921	0.933	0.018
4	500	1.176	1.149	1.187	1.171	0.020
5	600	1.426	1.374	1.371	1.390	0.031

S= desviación estándar

La construcción de la curva de calibración de catequina se realizó con la absorbancia promedio de las 3 réplicas vs la concentración de los 5 niveles, con un rango de concentración para la cuantificación de flavonoides que va de 200 a 600 mg/L. Para la curva de calibración de catequina se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9995, como se observa en la Figura *9*, el cual se utilizó para evaluar la linealidad del método.

Figura 9

Curva de calibración para la cuantificación de flavonoides, usando el estándar de catequina



La Tabla 7 muestra los resultados de las absorbancias obtenidas para los distintos niveles de concentración utilizados en la construcción de la curva de calibración de ácido tánico

Tabla 7

Lectura de absorbancias para los niveles de concentración utilizados en la construcción de la curva de calibración de ácido tánico.

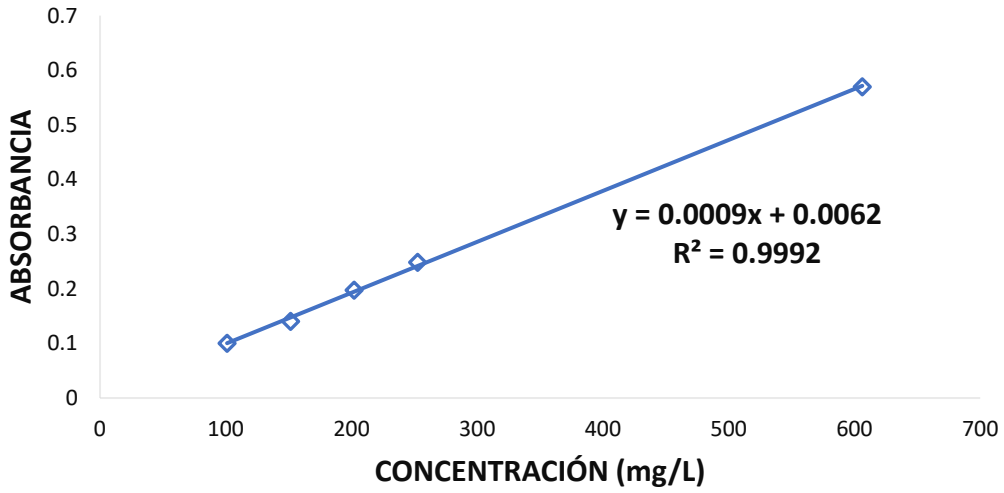
Nivel	Concentración teórica de estándar Ác.Tánico (mg/L)	Lecturas de absorbancias				S
		Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio	
1	100	0.091	0.104	0.105	0.100	0.008
2	150	0.136	0.151	0.134	0.140	0.009
3	200	0.184	0.201	0.207	0.197	0.012
4	250	0.235	0.268	0.242	0.248	0.017
5	600	0.584	0.576	0.549	0.570	0.018

S= desviación estándar.

La construcción de la curva de calibración de ácido tánico, se realizó con la absorbancia promedio de las 3 réplicas vs la concentración de los 5 niveles, con un rango de concentración para la cuantificación de taninos que va de 100 a 600 mg/L. Para la curva de calibración de ácido tánico, se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9992, como se observa en la Figura 10, el cual se utilizó para evaluar la linealidad del método.

Figura 10

Curva de calibración para la cuantificación de Taninos, utilizando el estándar de ácido tánico



Según Palma (2022), mientras más cercano esté el coeficiente de determinación a 1, mayor es la evidencia de que el modelo presenta un comportamiento lineal. En este estudio, las curvas de calibración ensayas para la catequina y el ácido tánico se ajustaron al modelo lineal, ya que los coeficientes de determinación obtenidos fueron 0.9995 para la catequina y 0.9992 para el ácido tánico, valores muy cercanos a 1. Lo cual permite una cuantificación confiable del contenido de flavonoides y taninos dentro del rango de trabajo establecido.

4.2 Limite de detección y cuantificación

El LD se utiliza para determinar la concentración más baja de un analito que puede ser detectada y LC, indica la concentración mínima de un analito que puede ser cuantificada con precisión y exactitud en el análisis como se observa en la Tabla 8 (Quino et al., 2007).

En la Tabla 8 se presentan valores de LD y LC obtenidos para la determinación de flavonoides y taninos en las muestras de café.

Tabla 8

Límites de detección y cuantificación para la determinación de flavonoides y taninos.

Método	Estándar	LD	LC
Flavonoides	Catequina	6.83	22.77
Taninos	Ácido tánico	4.95	11.22

4.3 Resultados del contenido de flavonoides y taninos en café verde y tostado

Se utilizó la estadística descriptiva para obtener el rango de concentraciones, concentración promedio y la desviación estándar para el contenido de flavonoides y taninos obtenidas en las muestras de café de especialidad verde y tostado. Para la detección de valores atípicos se aplicó el test Grubbs. Luego, se evaluó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, La cual es una herramienta estadística que permite evaluar si los datos analizados presentan un comportamiento acorde con una distribución normal. Para determinar si existía diferencia significativa en el contenido de flavonoides y taninos por efecto de estado (verde o tostado), la variedad, y el tratamiento se aplicaron las pruebas de t-studen y U de Mann-Whitney.

Análisis Descriptivo

En la tabla 9 se presenta un resumen del contenido de flavonoides determinados en el café verde y tostado de la especie *Coffea arabica*.

Tabla 9

Contenido de flavonoides en café verde y tostado de C.arabica en mg equivalentes de catequina/g en base seca.

Estado	Variedad	Proceso	n	Rango		Promedio	S
Café tostado	Geisha	Proceso	24	40.31	30.24	35.48	2.43
	Geisha	Lavado	38	36.77	27.64	33.39	1.49
	Tradicional	Lavado	16	36.38	28.23	33.05	1.61
Café Verde	Geisha	Proceso	18	44.09	33.54	37.49	2.66
	Geisha	Lavado	17	42.70	34.67	39.27	2.52
	Tradicional	Proceso	8	36.01	33.22	34.33	0.76
	Tradicional	Lavado	2	34.74	29.55	31.89	2.15

n= número de muestras, S= desviación estándar.

Según la tabla 9, el contenido de flavonoides en el café tostado de la especie arabica var. Geisha y Tradicional tuvo valores de 33.05 a 35.48 *mg equivalentes de catequina/g en base seca*, sin tomar en cuenta el proceso. El contenido de flavonoides en el café verde de la especie arabica var. Geisha y Tradicional tuvo valores de 31.89 a 39.27 *mg equivalentes de catequina/g en base seca*, sin tomar en cuenta el proceso.

En la literatura se encuentran datos del contenido de flavonoides en café tostado, pero con diferentes características como grado de tostado, variedad o

mezclados con otros granos por lo que es difícil la comparación con los datos encontrados en este estudio. Por ejemplo, en un estudio reportado por Vega et al., (2017), el contenido de flavonoides en cafés comerciales de Panamá estuvo en un rango de concentraciones de flavonoides de 38.29 mg CE/g a 9.36 mg CE/g, indicando que las concentraciones en café tostado son casi similares a lo encontrado en este estudio (33.05 a 35.48 *mg equivalentes de catequina/g en base seca*), ya que en el rango mínimo no se comparó debido a que esta concentración se encontró en mezclas de café con otros granos. Por otro lado, en Panamá realizó una investigación en *C.arabica* (Geisha lavado), donde obtuvieron concentraciones de flavonoides en un rango 41.6 a 39.2 mg CE/g en café tostado(Castillo Avilés et al., 2024). También se comparó con los datos reportados por Díaz et al. (2018), los cuales obtuvieron contenidos de flavonoides en *C.arabica* tostado de 32.9 mg CE/ g. Las diferencias se deben a que las muestras tienen un grado de tostado diferente al de las muestras de café de este estudio.

Los contenidos de flavonoides en el café verde se compararon con una investigación realizada por Pacheco-Coello et al., (2020) donde se obtuvieron contenidos de flavonoide en café verde de 32.01 mg CE/ g.

Mehari et al., (2021) determinaron que el contenido de flavonoides en café verde fue 43.6 a 21.6 mg CE/g en peso seco. En otra investigación realizada por Benavides Ibujes y Wilson Patricio (2019), evidenciaron mayor contenido de flavonoides en café verde de 16.6 mg CE/g en comparación con el café tostado de 10.1 mg CE/g, donde obtuvieron diferencia estadística significativa, sobre el contenido de flavonoides en café verde y el tostado.

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, se evidenció que el contenido de flavonoides es mayor en el café verde en comparación con el café tostado. Esto coincide con lo señalado por Jung et al., (2021), quienes sugieren que, a medida que aumenta el grado de tueste, la concentración de flavonoides totales disminuye, indicando que las altas temperaturas del proceso de tueste provocan su degradación.

En la tabla 10 se presenta un resumen del contenido de taninos determinados en el café verde y tostado de la especie *Coffea arabica*.

Tabla 10

Contenido de taninos C.arabica (verde y tostado) en mg equivalentes de ácido tánico/g en base seca.

Estado	Variedad	Proceso	n	Rango		Promedio	S
Café tostado	Geisha	Proceso	24	44.48	37.39	41.08	1.66
	Geisha	Lavado	38	47.56	34.13	41.81	2.65
	Tradicional	Lavado	16	45.70	34.48	40.77	2.58
Café Verde	Geisha	Proceso	18	50.95	38.34	43.77	3.23
	Geisha	Lavado	17	49.65	40.28	44.91	2.34
	Tradicional	Proceso	8	43.34	34.20	38.27	2.23
	Tradicional	Lavado	2	43.71	36.09	39.94	3.45

n= número de muestra, S= desviación estándar.

Según la tabla 10, el contenido de taninos en el café tostado de la especie arabica var. Geisha y Tradicional tuvo valores de 40.77 a 41.81 *mg equivalentes de ácido tánico /g en base seca*, sin tomar en cuenta el proceso. El contenido de taninos en el café verde de la especie arabica var. Geisha y Tradicional tuvo valores de 38.27

a 44.91 *mg equivalentes de ácido tánico/g en base seca*, sin tomar en cuenta el proceso.

Los datos obtenidos de café tostado se compararon con la investigación realizada por Armando Bastidas (2011), que tuvo valores de 37.37 a 39.92 mg equivalentes de Ac. Tánico/g, el contenido taninos en café tostado puede variar dependiendo del origen del café, tiempo de tueste y tipo de café.

En el café verde Haile y Kang, (2019a), obtuvieron concentraciones de taninos de 3.05 a 8.47 mg equivalentes de ácido tánico /g, indicando que hay diferencias significativas en la concentración de taninos, por efecto de la fermentación dependiendo del tiempo

En los estudios realizados por Sullcaray Huanguis, 2014 y Chire Murillo et al., (2014), se observó que el contenido de taninos es mayor en café verde, en comparación con el café tostado, lo que sugieren que el calor puede degradar o modificar la estructura de los taninos, reduciendo su contenido como sucedió con los flavonoides.

Se observó en la Tabla 10, que el Geisha con lavado tiene mayor contenido de taninos con respecto al Geisha con proceso y Tradicional lavado en su forma tostado. Lo mismo se observa para el café verde. La diferencia en el contenido de taninos puede estar relacionada con las variaciones en los tratamientos aplicados al café (Cordoba et al., 2020). Durante el tratamiento de lavado, los granos de café pasan por una fermentación controlada que puede preservar mejor ciertos compuestos fenólicos,

como los taninos, en comparación con otros métodos que involucran un mayor contacto con la pulpa o tiempos de secado prolongados (Haile y Kang, 2019).

Análisis estadístico

Para la comparación de los valores de las medias de las concentraciones tanto de flavonoides como de taninos, se hace la prueba de normalidad de los datos, para saber si se aplica la prueba t-student o la prueba Shapiro-Wilk.

En la Tabla 11 se observan los resultados obtenidos de la prueba de normalidad de los datos del contenido de flavonoides y taninos en el café verde y tostado.

Tabla 11

Prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos.

Café tostado y verde (Variedad y Tratamiento)	pvalor		GI	p
	Flavonoide	Taninos		
Geisha con proceso tostado	0.261	0.670	50	<0.001
Geisha con proceso verde	0.074	0.171	50	<0.001
Tradicional lavado tostado	0.206	0.380	50	<0.001
Geisha lavado tostado	0.764	0.061	50	<0.001
Geisha lavado verde	0.067	0.157	50	<0.001

Nota. Un valor de p > 0.05 indica que los datos no presentan desviaciones significativas respecto a una distribución normal.

Los resultados indican que hay una distribución normal en los datos obtenidos, como se observa en la Tabla 11, indicando que los datos se ajustan a este modelo que

es fundamental en muchas técnicas estadísticas, ya que muchas pruebas paramétricas asumen que los datos se distribuyen de esta manera.

En la exploración de los datos se determinó que algunos de los datos no poseían una distribución normal como se observa en la Tabla 12 (contenido de flavonoides), por lo que se realizó la prueba U de Mann-Whitney para comparar dos grupos independientes sin asumir normalidad de los mismos.

Tabla 12

Prueba de U de Mann-Whitney en la comparación del contenido de flavonoides en la variedad y tratamiento en el café verde.

Café tostado y verde (Variedad y Tratamiento)	pvalor U de Mann-Whitney
	Flavonoide
Geisha Proceso verde - Geisha lavado verde	1.00E-03

Se determinó que el contenido de flavonoides en el café verde tanto Geisha lavado como Geisha con proceso hay diferencia estadísticamente significativa.

En la Tabla 13 se observan los resultados de la comparación de las medias de las concentraciones de flavonoides y taninos en café verde y tostado utilizando la prueba t-Student.

Tabla 13

Prueba t-Student para la comparación de las medias de las concentraciones de taninos y flavonoides según la variedad y tratamiento, en el café verde y tostado.

Café tostado y verde (Variedad y Tratamiento)	pvalor	
	Flavonoide	Taninos
Geisha proceso tostado- Geisha proceso verde	8.00E-03	8.60E-06
Geisha lavado tostado-Tradicional lavado tostado	4.0E-02	6.0E-03
Geisha lavado tostado- Geisha lavado Verde	4.11E-36	2.3E-10
Geisha Proceso verde - Geisha lavado verde	----------	5.80E-02
Geisha lavado tostado- Geisha proceso tostado	2.65E-09	4.00E-03

pvalor en la comparación de medias. Prueba t -Student al 95%.

Se le aplicó la prueba t-Student a las distintas variedades de café, para evaluar independientemente el contenido de flavonoides y taninos, observando que existe diferencia estadísticamente significativa (ver Tabla 13), entre el Geisha con proceso (verde) y Geisha con proceso (tostado).

Seguidamente, se determinó que en el Geisha Lavado (tostado) y el tradicional (tostado) sí hubo diferencia estadísticamente significativa, entre el contenido de flavonoides y taninos. En la comparación del Geisha con Lavado (Tostado) y Geisha con lavado (verde), se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa. En el Geisha con lavado verde y el Geisha con proceso, no se evidenció una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de taninos. Por último, se comparó el

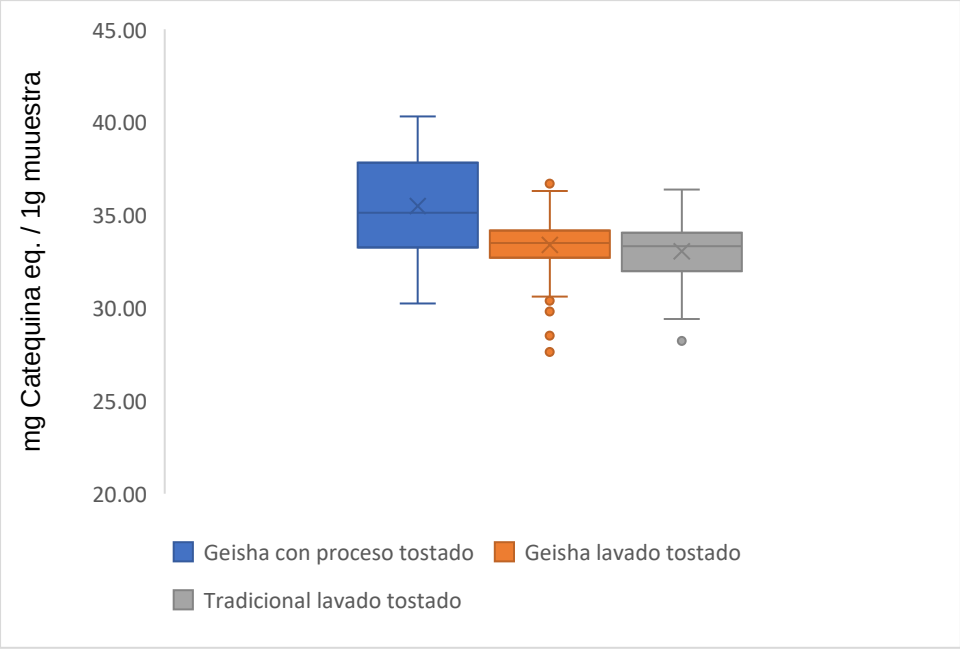
contenido de taninos y flavonoides en Geisha lavado (tostado) con respecto al Geisha con proceso (tostado) y se observó diferencia significativa.

Para comparar las medias de las concentraciones, tanto de flavonoides como de taninos en muestras de café tostado y verde se presentan los gráficos de caja y bigote.

En cuanto a los flavonoides en café tostado, se observó en la Figura 11 que el Geisha con proceso posee mayor contenido de flavonoides en comparación con el Geisha lavado y Tradicional lavado.

Figura 11

Gráfico de caja y bigote para el contenido promedio de las concentraciones obtenidas de flavonoides en café tostado.

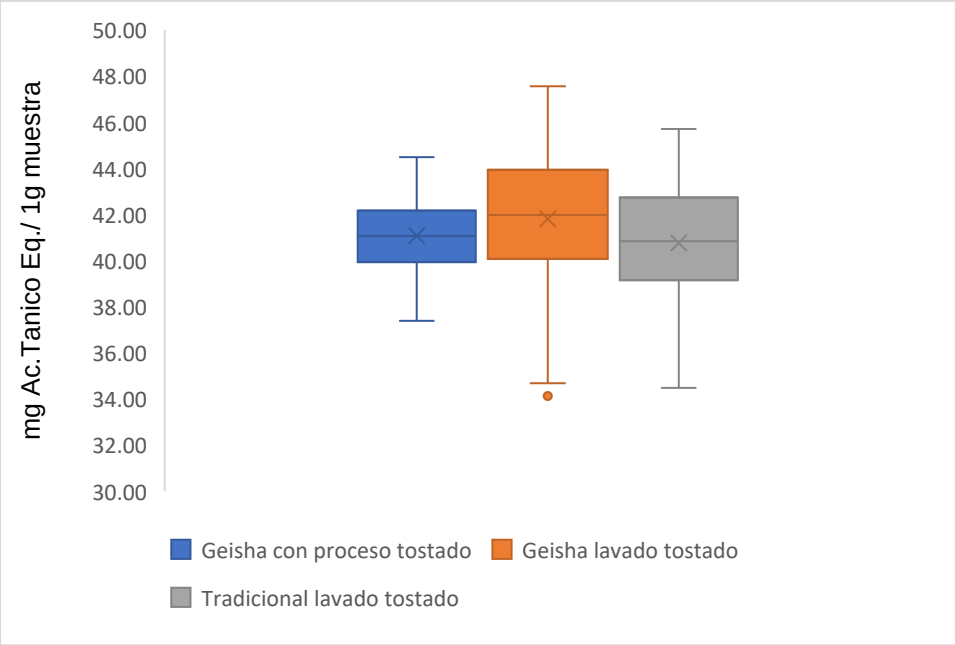


Nota: el gráfico de caja y bigote describe los promedios obtenidos de cada variedad y tratamiento sin tomar en consideración que las cantidades de muestras sean iguales.

En cuanto a los taninos en café tostado, se observó en la Figura 12 que el Geisha lavado posee mayor contenido de taninos en comparación con el Geisha con proceso y tradicional lavado.

Figura 12

Gráfico de caja y bigote para el contenido promedio de las concentraciones obtenidas de taninos en café tostado.

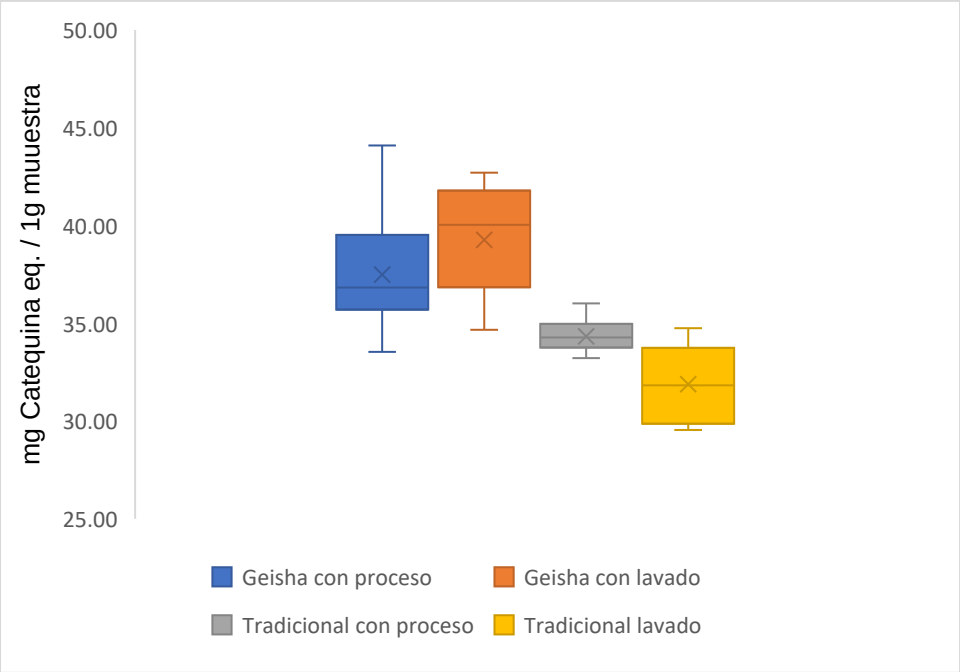


Nota: el gráfico de caja y bigote describe los promedios obtenidos de cada variedad y tratamiento sin tomar en consideración que las cantidades de muestras sean iguales.

Con respecto a los flavonoides en café verde, se observó, de acuerdo a la Figura 13, que el contenido de flavonoides es en orden ascendente, geisha lavado>geisha proceso>tradicional con proceso>tradicional lavado.

Figura 13

Gráfico de caja y bigote para el promedio de las concentraciones obtenidas de flavonoides en café verde.

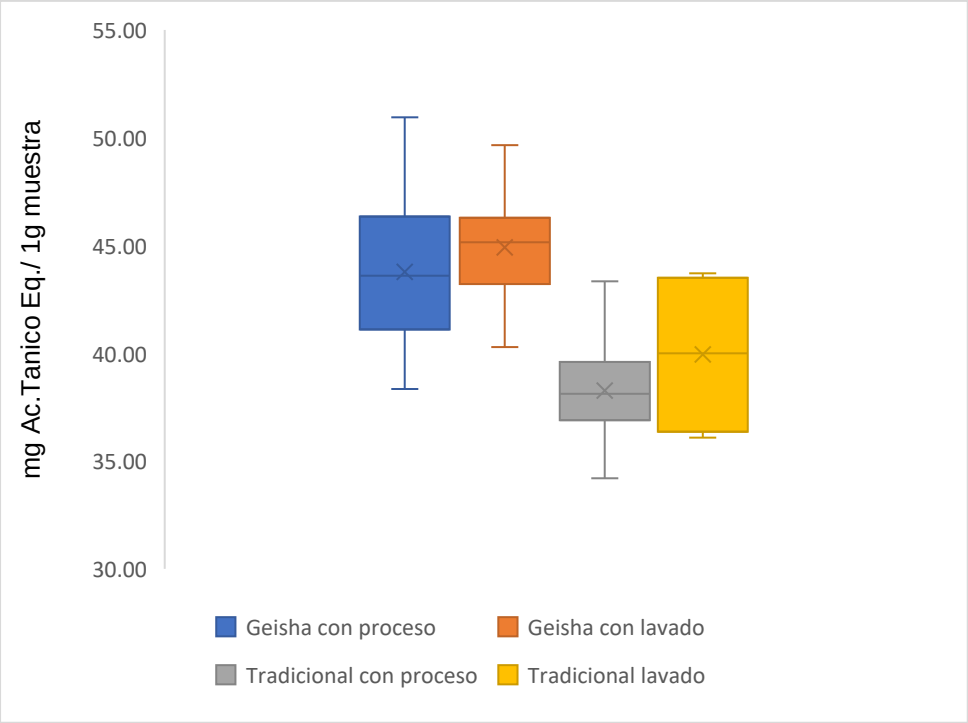


Nota: el gráfico de caja y bigote describe los promedios obtenidos de cada variedad y tratamiento sin tomar en consideración que las cantidades de muestras sean iguales.

En cuanto a los taninos en café verde, se observó según la Figura 14, que el contenido de taninos en el café verde sigue este orden, Geisha con lavado= Geisha con proceso> Tradicional lavado>Tradicional con proceso.

Figura 14

Gráfico de caja y bigote para el promedio de las concentraciones obtenidas de taninos en café verde.



Nota: el gráfico de caja y bigote describe los promedios obtenidos de cada variedad y tratamiento sin tomar en consideración que las cantidades de muestras sean iguales

Uno de los objetivos de este estudio fue obtener el contenido de flavonoides y taninos en el café de especialidad verde y tostado. En la tabla 9 y 10 se muestra el contenido de flavonoides y taninos en el café de especialidad, verde y tostado. Según este estudio el contenido de flavonoides y taninos es mayor en variedad geisha comparado con variedad tradicional tanto en café verde y tostado, sin diferenciar el proceso. La variedad geisha se diferencia genéticamente de la variedad tradicional y

esto se refleja en el contenido de compuestos químicos. El proceso de tostado disminuye el contenido de estos compuestos en la misma proporción en ambas variedades. En el proceso de tostado tanto los flavonoides como los taninos se transforman en otros compuestos durante la reacción de Maillard por lo que hay disminución de su contenido del café verde al tostado.

Otro de los objetivos del estudio era ver el efecto del tratamiento (lavado o proceso) en el contenido de flavonoides y taninos en el café verde de especialidad, según la variedad.

No hay diferencia significativa en las concentraciones de taninos entre el café Geisha con proceso (verde) y Geisha lavado (verde).

Si hay diferencia significativa en las concentraciones de flavonoides y taninos en el café verde tradicional con lavado y proceso siendo mayor el contenido de taninos en el Tradicional lavado>Tradicional con proceso.

El mayor contenido de flavonoides está presente en Geisha lavado que el geisha con proceso. En el café tradicional verde el mayor contenido de flavonoides es tradicional con proceso>tradicional lavado.

En general, existen dos procedimientos bien establecidos para tratar las cerezas del café: el método natural y el lavado, siendo el procesamiento natural el más tradicional, menos costoso y menos exigente técnicamente; durante este procedimiento, los frutos maduros se secan al sol entre 12 y 15 días hasta obtener una humedad del 10-12 %, posteriormente la cáscara seca compuesta de la pulpa de café, mucílago y capa de pergamino se elimina posteriormente con una máquina (Figueroa Campos et al., 2022). Por otro lado, el procesamiento lavado implica pasos

relativamente más complejos que incluyen la eliminación mecánica de la piel y la pulpa del café, la degradación microbiana (fermentación) de la capa de mucílago y por último la eliminación del agua mediante el secado al sol (de Melo Pereira et al., 2019). El método natural da como resultado un sabor ligeramente ácido, dulce, suave y amargo, mientras que el lavado favorece una formación más extensa de compuestos aromáticos y una mayor concentración de ácidos que los granos obtenidos con el método natural (Wang et al., 2022).

En los estudios realizados por Benavides y Liliana, (2021), determinaron que existe una variabilidad significativa en la concentración de flavonoides entre las diferentes variedades de café analizadas. En particular, el café Típica presentó la mayor cantidad de flavonoides totales, seguido de Caturra rojo y Bourbon sidra. Además, Ichán, (2021), indica que la variedad, tratamientos y ciertos factores genéticos pueden influir en la presencia de los flavonoides como se determinó en esta investigación entre la variedad Geisha y Tradicional.

Según Armando Bastidas (2011), obtuvo una diferencia significativa en el contenido de taninos entre las variedades de café analizadas, donde el Caturra presentó una mayor concentración de taninos en comparación con la variedad Castillo. En la investigación realizado por Patay et al., (2016), obtuvieron que la semilla inmadura del *C. benghalensis* presentó una concentración de taninos superior en comparación con las semillas inmaduras de las especies de *C. liberica* y *C. arabica.* Esto indica que los taninos presentes en semillas pueden variar dependiendo de la especie, el grado de madurez y las condiciones de cultivo.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES

- Se logró determinar el contenido de taninos y flavonoides, presentes en el café de especialidad de Panamá, tanto en su estado verde como tostado. Los resultados demuestran diferencias claras en las concentraciones de estos compuestos entre ambas etapas de tratamiento.
- Se comprobó que el café Geisha con proceso verde, presenta una mayor concentración de taninos y flavonoides en comparación con el Geisha con proceso tostado.
- En el caso del Geisha lavado, se observó que el café verde tiene una mayor concentración de estos compuestos en comparación con el mismo café en su forma tostado.
- Al comparar las variedades de Geisha lavado tostado con la variedad tradicional tostado, se determinó que hay una diferencia estadísticamente significativa en la concentración de estos compuestos.
- Se evidenció que el tratamiento de tostado tuvo un efecto significativo en la degradación de los taninos y flavonoides, presentes en el café de especialidad. Las concentraciones de estos compuestos disminuyeron tras el tostado, lo cual indica que la exposición al calor durante este tratamiento contribuye a la degradación de los polifenoles.
- Se recomienda realizar un muestreo homogéneo, donde las variedades del café sean sometidas a las mismo condiciones de pretratamiento y tostado para comparar con más precisión el contenido de taninos y flavonoides.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Armando Bastidas. (2011). *ESTUDIO QUÍMICO DE LOS COMPONENTES VOLÁTILES Y ANÁLISIS DE LA COMPOSICION DE TANINOS Y CAFEÍNA EN DOS VARIEDADES DE CAFÉ (Caturra y Castillo) DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO*. https://sired.udenar.edu.co/14338/1/86235.pdf

Arnold, A. M., Kennedy, Z. C., Y Hutchison, J. R. (2022). A simple, cost-effective colorimetric assay for aluminum ions via complexation with the flavonoid rutin. *PeerJ Analytical Chemistry*, *4*, e19. https://doi.org/10.7717/peerj-achem.19

Balentine, D. A., Wiseman, S. A., Y Bouwens, L. C. M. (1997). The chemistry of tea flavonoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *37*(8), 693–704. https://doi.org/10.1080/10408399709527797

Benavides Ibujes, Y Wilson Patricio. (2019). *Relación entre los términos de la matriz de rigidez usando elementos finitos prismáticos triangular de 6 nodos*.

Benavides, P., Y Liliana, V. (2021). *EVALUACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN EL PROCESO DE TOSTADO DE CAFÉ Coffea arabica L EN LAS VARIEDADES CASTILLO, CATURRA AMARILLO Y SL-28*. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11170

Cafe unido. (2024). *Café Geisha Panamá*.

Castillo Avilés, G. A., Hofmann, T. A., Y Cardona, J. (2024). Identificación de levaduras nativas en café Geisha (Coffea arabica) y su efecto como cultivo iniciador en las características sensoriales y químicas de café lavado. *Ceiba*, *57*(1), 29–50. https://doi.org/10.5377/ceiba.v57i1.18140

Castillo Landinez, S. P., Caicedo Rodríguez, P. E., Y Sánchez Gómez, D. F. (2019). Diseño e implementación de un software para la trazabilidad del proceso de beneficio del café. *Ciencia Y Tecnología </br>Agropecuaria*, *20*(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1588

Cerquera Losada, O. H., Pérez Gómez, V. H., Y Sierra Chavarro, J. (2020). Análisis de la competitividad de las exportaciones del café del Huila. *Tendencias*, *21*(2), 19–44. https://doi.org/10.22267/rtend.202102.139

Chen, Y., Gao, B., Y Lu, W. (2023). Recent Research Advancements of Coffee Quality Detection: Targeted Analyses vs. Nontargeted Fingerprinting and Related Issues. En *Journal of Food Quality* (Vol. 2023). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2023/6156247

Chire Murillo, E. T., Dávila T., R., Y Ríos Ríos, E. M. (2014). Evaluación del contenido de vitamina C, taninos condensados y capacidad antioxidante después de un tratamiento a tres temperaturas de los frutos de carambola (Averrhoa carambola L.). *Anales Científicos*, *75*(2), 370. https://doi.org/10.21704/ac.v75i2.977

Christodoulou, M. C., Orellana Palacios, J. C., Hesami, G., Jafarzadeh, S., Lorenzo, J. M., Domínguez, R., Moreno, A., Y Hadidi, M. (2022). Spectrophotometric Methods for Measurement of Antioxidant Activity in Food and Pharmaceuticals. En *Antioxidants* (Vol. 11, Número 11). MDPI. https://doi.org/10.3390/antiox11112213

Cisneros, C., Mejía-Domínguez, ;, Y Girón, ; Andrade. (2021). *Evaluación de la linealidad del método espectrofotométrico VIS para determinar nitratos en hortalizas: Curva de calibración con estándares externos*.

Cordoba, N., Fernandez-Alduenda, M., Moreno, F. L., Y Ruiz, Y. (2020). Coffee extraction: A review of parameters and their influence on the physicochemical characteristics and flavour of coffee brews. *Trends in Food Science Y Technology*, *96*, 45–60. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.12.004

Cutrim, C. S., Y Cortez, M. A. S. (2018). A review on polyphenols: Classification, beneficial effects and their application in dairy products. En *International Journal of Dairy Technology* (Vol. 71, Número 3, pp. 564–578). Blackwell Publishing Ltd. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12515

Daniel C. Harris. (2016). *Análisis químico cuantitavo 3ª Edición*.

Dias, M. C., Pinto, D. C. G. A., Y Silva, A. M. S. (2021). Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. En *Molecules* (Vol. 26, Número 17). MDPI. https://doi.org/10.3390/molecules26175377

Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., Y Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, *98*(2), 373–380. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032

Firdissa, E., Mohammed, A., Berecha, G., Y Garedew, W. (2022). Coffee Drying and Processing Method Influence Quality of Arabica Coffee Varieties (Coffee arabica L.) at Gomma I and Limmu Kossa, Southwest Ethiopia. *Journal of Food Quality*, *2022*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2022/9184374

Fornasier, M., Pireddu, R., Del Giudice, A., Sinico, C., Nylander, T., Schillén, K., Galantini, L., Y Murgia, S. (2021). Tuning lipid structure by bile salts: Hexosomes for topical administration of catechin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *199*. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.111564

Fraga-Corral, M., Otero, P., Echave, J., Garcia-Oliveira, P., Carpena, M., Jarboui, A., Nuñez-Estevez, B., Simal-Gandara, J., Y Prieto, M. A. (2021). By-products of agri-food industry as tannin-rich sources: A review of tannins' biological activities and their potential for valorization. En *Foods* (Vol. 10, Número 1). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/foods10010137

Górecki, M., Y Hallmann, E. (2020). The antioxidant content of coffee and its in vitro activity as an effect of its production method and roasting and brewing time. *Antioxidants*, *9*(4). https://doi.org/10.3390/antiox9040308

Haile, M., Y Kang, W. H. (2019a). Antioxidant activity, total polyphenol, flavonoid and tannin contents of fermented green coffee beans with selected yeasts. *Fermentation*, *5*(1). https://doi.org/10.3390/fermentation5010029

Haile, M., Y Kang, W. H. (2019b). The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. En *Journal of Food Quality* (Vol. 2019). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2019/4836709

Ichán, Q. (2021). *VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA coffea arábica L. (TÍPICA, CATURRA ROJO Y BOURBON SIDRA)*. https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11300

International Coffee Organization. (2024). *Aspectos botánicos Coffea*.

Janissen, B., Y Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. En *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 128, pp. 110–117). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001

Jung, S., Gu, S., Lee, S. H., Y Jeong, Y. (2021). Effect of roasting degree on the antioxidant properties of espresso and drip coffee extracted from coffea arabica cv. Java. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(15). https://doi.org/10.3390/app11157025

Marrone, G., Di Lauro, M., Izzo, F., Cornali, K., Masci, C., Vita, C., Occhiuto, F., Di Daniele, N., De Lorenzo, A., Y Noce, A. (2024). Possible Beneficial Effects of Hydrolyzable Tannins Deriving from Castanea sativa L. in Internal Medicine. En *Nutrients* (Vol. 16, Número 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/nu16010045

Martha Ordóñez. (2019). *"CAFÉ DE ESPECIALIDAD LA JABITA" (Parte I)* [Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184155

Mehari, B., Chandravanshi, B. S., Redi-Abshiro, M., Combrinck, S., McCrindle, R., Y Atlabachew, M. (2021). Polyphenol contents of green coffee beans from different regions of Ethiopia. *International Journal of Food Properties*, *24*(1), 17–27. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1858866

Melese, Y. Y., Y Kolech, S. A. (2021a). Coffee (Coffea arabica L.): Methods, objectives, and future strategies of breeding in Ethiopia—Review. En *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Número 19). MDPI. https://doi.org/10.3390/su131910814

Melese, Y. Y., Y Kolech, S. A. (2021b). Coffee (Coffea arabica L.): Methods, objectives, and future strategies of breeding in Ethiopia—Review. En *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Número 19). MDPI. https://doi.org/10.3390/su131910814

Mukherjee, P., Dutta Chakraborty, D., Chakraborty, P., Shrestha, B., Y Ranjan Bhuyan, N. (2021). *DIFFERENT ULTRAVIOLET SPECTROSCOPIC METHODS: A RETROSPECTIVE STUDY ON ITS APPLICATION FROM THE VIEWPOINT OF ANALYTICAL CHEMISTRY*. *14*, 2021. https://doi.org/10.22159/ajpcr.2021v14i9.42172

Ngamsuk, S., Huang, T. C., Y Hsu, J. L. (2019). Determination of phenolic compounds, procyanidins, and antioxidant activity in processed coffea Arabica L. leaves. *Foods*, *8*(9). https://doi.org/10.3390/foods8090389

Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., Y Ramos-Jimenez, A. (2015a). Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. En *Nutricion Hospitalaria* (Vol. 31, Número 1, pp. 55–66). Grupo Aula Medica S.A. https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699

Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., Y Ramos-Jimenez, A. (2015b). Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. En *Nutricion Hospitalaria* (Vol. 31, Número 1, pp. 55–66). Grupo Aula Medica S.A. https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699

Olivas-Aguirre, F. J., Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., López-Díaz, J. A., Álvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., Y Ramos-Jimenez, A. (2015c). Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. En *Nutricion Hospitalaria* (Vol. 31, Número 1, pp. 55–66). Grupo Aula Medica S.A. https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699

Ormaza-Zapata, A. M., Díaz-Arango, F. O., Y Rojano, B. A. (2019). The effect of pressure filtration coffee preparation methods (Coffea arabica l. var. castillo) on antioxidant content and activity, and beverage acceptance. *DYNA (Colombia)*, *86*(209), 261–270. https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.75839

Pacheco-Coello, F., Torres, R., Arvelo, T., Y Velasquez, I. (2020). Variación de la actividad antioxidante por efecto del tostado en granos de café (Coffea arabica), estado Miranda, Venezuela. *Ciencia, Ambiente y Clima*, *3*(2), 49–56. https://doi.org/10.22206/cac.2020.v3i2.pp49-56

Palma, R. P. (2022). *Análisis crítico del coeficiente de determinación (R 2), como indicador de la calidad de modelos lineales y no lineales Critical analysis of the coefficient of determination (R 2), as an indicator of the quality of linear and non-linear models* (Vol. 20, Número 2).

Patay, É. B., Sali, N., Koszegi, T., Csepregi, R., Balázs, V. L., Németh, T. S., Németh, T., Y Papp, N. (2016). Antioxidant potential, tannin and polyphenol contents of seed and pericarp of three Coffea species. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, *9*(4), 366–371. https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.03.014

Pérez, M., Dominguez-López, I., Y Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. En *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 71, Número 46, pp. 17543–17553). American Chemical Society. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022

Pizzi, A. (2021). Tannins medical / pharmacological and related applications: A critical review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *22*. https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100481

Pratiwi, R. A., Y Nandiyanto, A. B. D. (2022). How to Read and Interpret UV-VIS Spectrophotometric Results in Determining the Structure of Chemical Compounds. *Indonesian Journal of Educational Research and Technology*, *2*(1), 1–20. https://doi.org/10.17509/ijert.v2i1.35171

Prihadi, A. R., Maimulyanti, A., Mellisani, B., Y Nurhasanah. (2020). Antioxidant activity, tannin content and dietary fiber from coffee husk extract and potential for nutraceutical. *Rasayan Journal of Chemistry*, *13*(2), 955–959. https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1325613

Quino, I., Ramos, O., Y Guisbert, E. (2007). *REVISTA BOLIVIANA DE QUÍMICA DETERMINACION DEL LIMITE DE DETECCION INSTRUMENTAL (LDI) Y LIMITE DE CUANTIFICACION INSTRUMENTAL (LCI) EN ELEMENTOS TRAZA DE AGUA SUBTERRANEA*.

Rasouli, H., Farzaei, M. H., Y Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. En *International Journal of Food Properties* (Vol. 20, pp. 1700–1741). Taylor and Francis Inc. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1354017

Rufino, A. T., Costa, V. M., Carvalho, F., Y Fernandes, E. (2021). Flavonoids as antiobesity agents: A review. En *Medicinal Research Reviews* (Vol. 41, Número 1, pp. 556–585). John Wiley and Sons Inc. https://doi.org/10.1002/med.21740

Siregar, E., Nazir, N., Y Asben, A. (2019). The Analysis of Strategic Partnership to Supply Mandailing Arabica Coffee for Export Quality Markets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *347*(1), 012046. https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012046

Specialty Coffee Association. (2019, septiembre 2). *El efecto de la fermentación* .

Suárez Cunza, S., Alfaro Pillihuaman, E., German, E., Y Roca, R. (2020). ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, POLIFENOLES Y FLAVONOIDES DE Coffea arabica de CINCO REGIONES PERUANAS. En *Rev Soc Quím Perú* (Vol. 86, Número 4).

Sullcaray Huanguis, G. (2014). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE ESTERILIZACIÓN Y DE EXTRUSIÓN EN LA REDUCCIÓN DE TANINOS PRESENTES EN LA SEMILLA DE PALTA (Persea americana)*. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2655

Tong, Z., He, W., Fan, X., Y Guo, A. (2022). Biological Function of Plant Tannin and Its Application in Animal Health. En *Frontiers in Veterinary Science* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.803657

Torres, P., Osaki, S., Silveira, E., dos Santos, D. Y. A. C., Y Chow, F. (2024). Comprehensive evaluation of Folin-Ciocalteu assay for total phenolic quantification in algae (Chlorophyta, Phaeophyceae, and Rhodophyta). *Algal Research*, *80*, 103503. https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2024.103503

Vega, A., De León, J. A., Y Reyes, S. M. (2017). Determinación del Contenido de Polifenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante de 34 Cafés Comerciales de Panamá. *Informacion Tecnologica*, *28*(4), 29–38. https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400005

Wan, L., Wang, H., Mo, X., Wang, Y., Song, L., Liu, L., Y Liang, W. (2024). Applying HS-SPME-GC-MS combined with PTR-TOF-MS to analyze the volatile compounds in coffee husks of Coffea arabica with different primary processing treatments in Yunnan. *LWT*, *191*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115675

World Coffee Research. (s/f). *Geisha Panamá*.

Yan, W., Shi, M., Dong, C., Liu, L., Y Gao, C. (2020). Applications of tannic acid in membrane technologies: A review. En *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 284). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102267

A.E.F.I. (2001). Validación de Métodos Analíticos.

AOAC. (2010). Obtenido de https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/

Wensma, T. (24 de septiembre de 2023). Obtenido de https://perfectdailygrind.com/es/2023/09/24/cambio-consumidores-cafe-especialidad/

Figueroa Campos, G. A.; Kruizenga, J. G. K. T.; Sagu, S. T.; Schwarz, S.; Homann, T.; Taubert, A.; Rawel, H. M. Effect of the Post-Harvest Processing on Protein Modification in Green Coffee Beans by Phenolic Compounds. *Foods* **2022**, *11* (2), 1–19. https://doi.org/10.3390/foods11020159.

Melo Pereira, G. V.; de Carvalho Neto, D. P.; Magalhães Júnior, A. I.; Vásquez, Z. S.; Medeiros, A. B. P.; Vandenberghe, L. P. S.; Soccol, C. R. Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Aroma Formation of Coffee Beans – A Review. *Food Chem* **2019**, *272*, 441–452. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061.

Wang, X.; Wang, Y.; Hu, G.; Hong, D.; Guo, T.; Li, J.; Li, Z.; Qiu, M. Review on Factors Affecting Coffee Volatiles: From Seed to Cup. *J Sci Food Agric* **2022**, *102* (4), 1341–1352. https://doi.org/10.1002/jsfa.11647.

ANEXOS

7.1 Anexos I

Figura 1A. Molienda de las muestras de café.

Figura 2 A . Micromolino.

Figura 3 A. Muestras molidas y almacenadas.

Figura 4 A. Pesada de las muestras para análisis de húmeda.

Figura 5 A. Análisis húmeda.

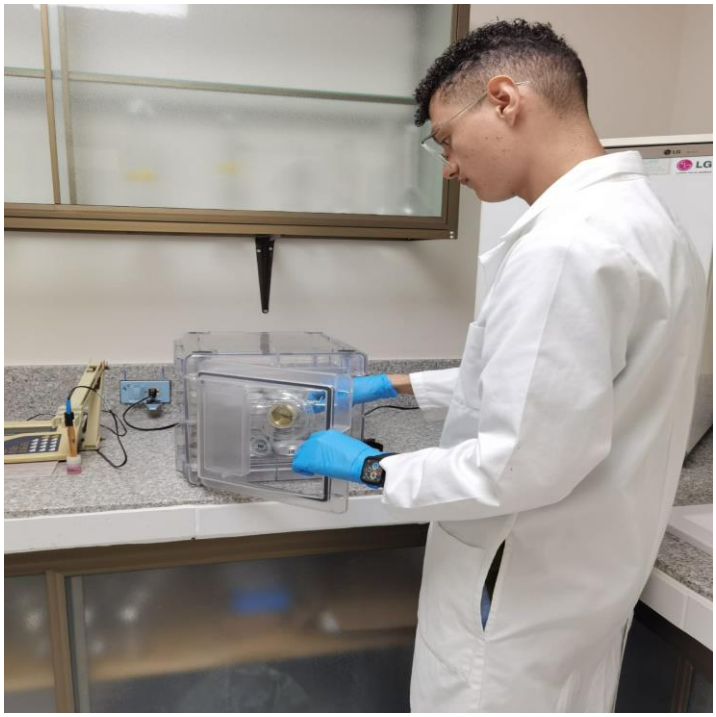


Figura 6. Desecador.

Figura 7 A. Preparación de la curva de calibración flavonoides.

Figura 8 A. Preparación de la curva de taninos.

Figura 9 A. Obtención del extracto acuoso.

Figura 10 A. Extractos para el análisis de taninos y flavonoides.

Figura 11 A. Análisis de taninos.

Figura 12 A. Análisis de flavonoides

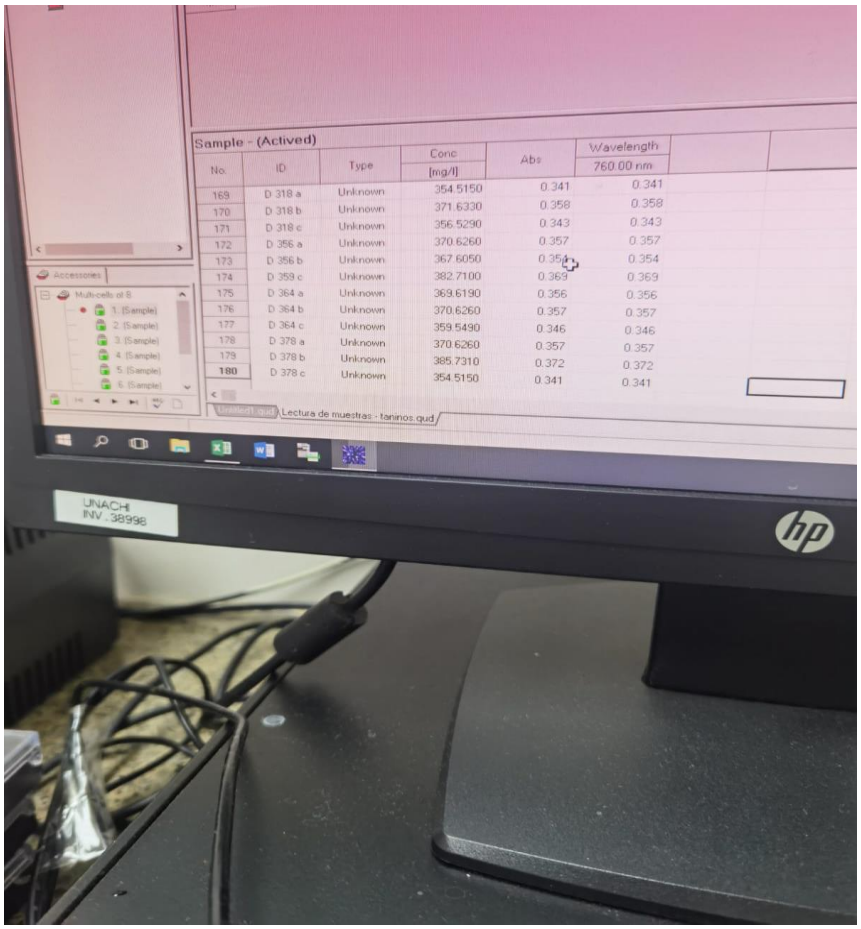


Figura 13 A. Lectura de taninos.

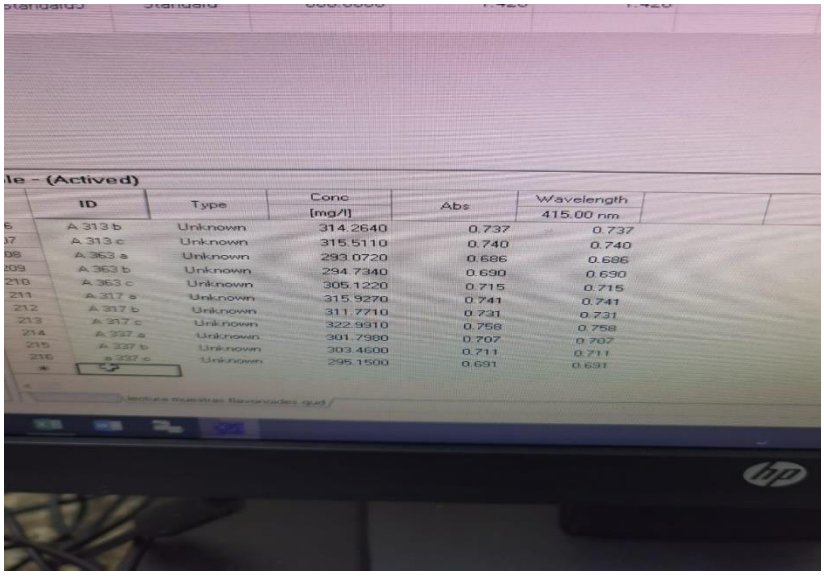


Figura 14 A. Lectura de flavonoides.

Universidad Autónoma de Chiriquí
Vicerrectoría Académica
Sistema de Bibliotecas e Información
Certificado de originalidad

Fecha: **28/5/2025**

Facultad: **Ciencias Naturales y Exactas.**

Escuela: **Química.**

Se certifica que, tras llevar a cabo el proceso de análisis de originalidad y detección de similitudes en el trabajo de investigación titulado **"EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE TANINOS Y FLAVONOIDES EN EL CAFÉ (VERDE Y TOSTADO) DE ESPECIALIDAD CULTIVADO EN LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ-PANAMÁ"** presentado por el/la estudiante **Yino Mauricio Duque Verano** con número de cédula N.° **,0EC-0003-00120**, con la asesoría del profesor **Dra. Aracelly Vega;** el trabajo cumple con el **80%** de originalidad, de acuerdo con el informe emitido por el profesor asesor.

Es importante señalar que el proceso de análisis de plagio se ha realizado utilizando la herramienta Turnitin y siguiendo procedimientos estandarizados para asegurar la precisión de los resultados.

Nota: El uso de la herramienta Turnitin fue aprobada por el Consejo Académico #5 - Sesión extraordinaria - 22 de mayo de 2023 y modificada el 6 de octubre de 2023

Eibar Amaya
Responsable de departamentco

Ada Chávez
Directora del SIBIUNACHI