

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DEL CEREZO DE CAFÉ (*Coffea arabica*)
PARA LA EXTRACCION DE COMPONENTES BIOACTIVOS POR SOXHLET,
MACERACION Y ULTRASONIDO**

PRESENTADO POR:

Br. ROBERTO CARLOS ARNADO PUMA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ASESORA:

Dra. MARIA MERCEDES CARRASCO COLQUE

COASESOR:

MSc. JOSEPH OBED RICALDI SARAPURA

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Dra. MARIA MERCEDES CARRASCO COLQUE
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DEL CEREZO
DE CAFÉ (Coffea arabica) PARA LA EXTRACCION DE COMPONENTES
BIOACTIVOS POR SOXHLET, MACERACION Y ULTRASONIDO

Presentado por: ROBERTO CARLOS ARNADO PUMA DNI N° 76285241;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO AGROINDUSTRIAL


Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 16 de ENERO de 2026


Firma

Post firma DRA. MARIA MERCEDES CARRASCO COLQUE

Nro. de DNI 24715150

ORCID del Asesor 0000-0002-2286-1990

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:546684766

182870_ARNADO_PUMA_ROBERTO_CARLOS_TESIS_PREGRADO_2(3).pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546684766

Fecha de entrega

16 ene 2026, 6:43 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 ene 2026, 7:45 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

182870_ARNADO_PUMA_ROBERTO_CARLOS_TESIS_PREGRADO_2025 (3).pdf

Tamaño del archivo

4.9 MB

193 páginas

33.811 palabras

194.843 caracteres




3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe



- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
47 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
12 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Presentación

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento de las normativas establecidas en el reglamento de grados y títulos vigente de la Facultad de Ingeniería de Procesos, correspondiente a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, presentamos ante usted la tesis de investigación titulada: **“APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DEL CEREZO DE CAFÉ (*Coffea arábica*) PARA LA EXTRACCION DE COMPONENTES BIOCTIVOS POR SOXHLET, MACERACION Y ULTRASONIDO”**.

Esta investigación aporta al conocimiento científico para el aprovechamiento de la pulpa de diferentes variedades de café al determinar los componentes bioactivos por diferente método de extracción. Se evaluó el efecto del método de extracción y la variedad de la pulpa del cerezo de café sobre el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y el rendimiento de los extractos obtenidos. El ámbito económico, esta investigación añade valor a la pulpa del cerezo de café arábica, proveniente de la postcosecha de café de especialidad, beneficiando a los pequeños productores cafetaleros de la región Cusco. A nivel social aportará una ruta tecnológica para valorizar correctamente la pulpa del cerezo de café. Finalmente, desde una perspectiva ambiental, la valorización de la pulpa reduce su disposición inadecuada en zonas agrícolas.

Atentamente;

ROBERTO CARLOS ARNADO PUMA

Tesista.

Dedicatoria

A Dios:

Por brindarme sabiduría, cuidar y guiarme a lo largo de toda mi vida.

A mi hermano:

Guido Uriel Arnado, que está a lado de Dios en el cielo, que me cuida y me da las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres:

Narcisa Puma Tacac y Mario Arnado Huamán, por su apoyo incondicional, cariño y comprensión.

A mis hermanos:

Ingrid, Noe David y Salomón Matías

Por brindarme su cariño, respeto y ser el motivo por el cual me esfuerzo a diario.

Agradecimientos

Al Blgo. Mario Callalli y al Dr. Luis Morales por brindarme enseñanza y apoyo en el laboratorio de biología y fisiología de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba.

Al Dr. Melquiades Barragán en el laboratorio de Química de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba

A la Dra. Fanny Márquez Romero en el laboratorio de Fitopatología de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba

A la Mgt. Janet F. Gonzales por el soporte y enseñanza en el laboratorio de investigación, análisis y preparación de productos orgánicos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Al MSc. Jorge Choquenaira por el servicio en el Laboratorio de Calidad, Cromatografía y Espectrofotometría de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

A mis asesores Dra. María Mercedes Carrasco Colque y MSc. Joseph O. Ricaldi Sarapura de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

A los integrantes del Jurado evaluador del trabajo de investigación: Dra. Luz Marina Aparicio Peña, Mgt. Bernardo Jorge Rojas, MSc. Ing. Antonieta Mojo Quisani y Ing. Uber Quispe Valenzuela.

Al Sr. Alcides Gonzales y Rodny Morveli por abrirme las puertas de su fundo proporcionarme la materia prima de investigación.

Reconocimiento

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco a través de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de Procesos por consolidar la formación académica científica, profesional y técnica en mi persona.

A los docentes de involucrados en mi formación de pregrado la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNSAAC por su preparación y motivación a siempre seguir adelante.

Índice General

Presentación	I
Índice General	II
Índice de Figuras	VII
Índice de Tablas	X
Índice de Anexos	XIII
Índice de Fotos	XIV
Resumen	XVI
Abstract	XVII
Introducción	XVIII

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática	1
1.1.1. Formulación Del Problema	3
1.1.2. Objetivos de la Investigación	4
1.1.3. Justificación del Estudio	5

II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes de la Investigación:	7
2.1.1. Internacionales	7
2.1.2. Nacionales	15
2.1.3. Locales	16

2.2.	Bases Teóricas.....	18
2.2.1.	Café.....	18
2.2.2.	Taxonomía.....	19
2.2.3.	Variedades de café arábica	20
2.2.4.	Procesamiento Agroindustrial de café.....	23
2.2.5.	Características fisicoquímicas de la pulpa del cerezo de café arábica	26
2.3.	Componentes bioactivos	28
2.3.1.	Determinación de componentes bioactivos	28
2.3.2.	Polifenoles	29
2.3.3.	Flavonoides.....	31
2.3.4.	Antocianinas	33
2.4.	Actividad Antioxidantes.....	33
2.4.1.	Componentes bioactivos como antioxidantes.....	34
2.5.	Métodos de Extracción de compuestos bioactivos.....	35
2.5.1.	Maceración	35
2.5.2.	Extracción por Soxhlet.....	36
2.5.3.	Extracción asistida por Ultrasonido.....	37
2.5.4.	Extracción por arrastre de vapor	38
2.5.5.	Hidrodestilación	39
2.5.6.	Extracción por Fluidos Supercríticos	40
2.6.	Marco Conceptual	41

2.6.1.	Espectrofotometría UV-visible	41
2.6.2.	Pulpa del cerezo de café.....	42
2.6.3.	Extracción solida liquido	43
2.6.4.	Infusión	43
2.6.5.	Decocción	43
2.6.6.	Extracción asistida por Ultrasonido.....	43
2.6.7.	Secado por estufa	43
2.6.8.	Liofilización.....	44
2.6.9.	Relación solido-liquido.....	44
2.6.10.	Sistemas de solventes	44
2.6.11.	Polifenoles totales.....	44
2.6.12.	DPPH	44
2.6.13.	EC50.....	45
2.6.14.	Acido clorogénico.....	45
2.6.15.	Antocianinas	45
2.6.16.	Cafeína.....	45
2.6.17.	Rendimiento de extracto	45

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.	Hipótesis.....	46
3.1.1.	Hipótesis General	46
3.1.2.	Hipótesis Específicas	46

3.2.	Identificación de Variables.....	47
3.2.1.	Variables independientes.....	47
3.2.2.	Variables dependientes.....	47
3.3.	Operacionalización de Variables.....	48

IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1.	Lugar de investigación	49
4.2.	Tipo y nivel de investigación	49
4.3.	Población.....	50
4.4.	Muestra.....	50
4.5.	Lugar de ejecución	50
4.6.	Materia prima	51
4.7.	Materiales, equipos y reactivos	52
4.8.	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos	55
4.8.1.	Metodología experimental.....	55
4.8.2.	Metodología de georreferenciación de la materia prima	64
4.8.3.	Metodología para determinar el color de la pulpa del cerezo de café arábica.....	64
4.8.4.	Metodología para determinar la humedad de la pulpa del cerezo de café arábica.....	64
4.8.5.	Metodología de la determinación de componentes polifenoles totales.	65
4.8.6.	Metodología para determinar la capacidad Antioxidante.....	68
4.8.7.	Metodología para determinar el rendimiento de extracción.....	70

4.9.	Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información.....	71
4.9.1.	Diseño experimental.....	71
4.9.2.	Matriz experimental	72
4.9.3.	Análisis Estadístico.....	72
4.9.4.	Hipótesis estadística.....	73
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES		
5.1.	Georreferenciación del punto de cosecha de la materia prima.....	76
5.2.	Análisis del índice de color de la pulpa del cerezo de café arábica	78
5.3.	Determinación de la Humedad.....	81
5.3.	Determinación de Polifenoles Totales.....	82
5.4.	Determinación de Actividad Antioxidante.....	94
5.5.	Determinación del rendimiento de extracción	108
CONCLUSIONES		119
RECOMENDACIONES.....		121
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		122
ANEXOS		133

Índice de Figuras

Figura 1 Partes de cerezo del Café arábica	19
Figura 2 Planta de café arábica	20
Figura 3 Café arábico de la variedad Catimor	21
Figura 4 Coffea arábica variedad Colombia amarillo.....	21
Figura 5 Variedades de café arábica	22
Figura 6 Planta de procesamiento primario del Café Pergamino	24
Figura 7 Flujograma del beneficio del cerezo de café arábica	25
Figura 8 Espacio de color tridimensional CIELab.....	27
Figura 9 Clasificación de compuesto bioactivos alimentarios.....	29
Figura 10 Clasificación de los polifenoles.....	30
Figura 11 Estructura química base de un flavonoide.....	31
Figura 12 Estructura de las principales clases de flavonoides.....	32
Figura 13 Modo de acción de los flavonoides a través de su interacción con macromoléculas..	34
Figura 14 Equipo incubación con agitación orbital	36
Figura 15 Sistema de extracción Soxhlet.....	37
Figura 16 Equipo de extracción asistida por Ultrasonido	38
Figura 17 Equipo de extracción de bioactivos por arrastre de vapor.....	39
Figura 18 Equipo de extracción de bioactivos por hidrodestilación.....	40
Figura 19 Sistema de Extracción por Fluidos Supercríticos.....	41
Figura 20 Diagrama de bloques espectrofotometría UV vis.....	42
Figura 21 Funcionamiento elemental del espectrofotómetro	42
Figura 22 Cosecha selectiva de cuatro variedades de café arábica.....	56

Figura 23 Extracción de componentes bioactivos por Soxhlet.....	58
Figura 24 Extracción de componentes bioactivos por Maceración con agitación.....	59
Figura 25 Extracción de componentes bioactivos asistida por Ultrasonido	60
Figura 26 Diagrama de flujo del procesamiento de la materia prima.....	63
Figura 27 Equipo de analizador inteligente de humedad.....	65
Figura 28 Curva de calibración de polifenoles totales.....	67
Figura 29 Curva de calibración para antioxidantes	69
Figura 30 Ubicación satelital (Google earth) del punto de recolección de variedades de C. arábica.....	76
Figura 31 Variación de color de los cerezos de café según variedad	78
Figura 32 Localización de los puntos cartesianos de las variedades de la pulpa del cerezo de café en el espacio Lab*	81
Figura 33 Contenido de polifenoles totales por cada tratamiento de extracto de la pulpa del cerezo de café en mgAG/g.....	84
Figura 34 Polifenoles totales del extracto de café arábica según el Método de extracción.....	89
Figura 35 Polifenoles totales del extracto según el tipo o variedad de café	90
Figura 36 Interacción entre la variedad de la pulpa del cerezo de café y el proceso de extracción de polifenoles totales.....	91
Figura 37 Comparación del porcentaje actividad antioxidante por cada tratamiento del extracto de pulpa del cerezo de café arabice.....	96
Figura 38 Comparación de la actividad antioxidante TEAC-DPPH por cada tratamiento del extracto.....	97
Figura 39 Actividad Antioxidante del extracto según el tipo o variedad de café.....	102

Figura 40 Actividad Antioxidante del extracto según el Método de extracción	104
Figura 41 Interacción del método de extracción y variedad de pulpa del cerezo de café en la actividad antioxidante	105
Figura 42 Porcentaje del rendimiento de extracción de la pulpa del cerezo de café arábica para cada tratamiento	109
Figura 43 Rendimiento de extracción de compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café seco según el Método de extracción	113
Figura 44 Rendimiento de extracción de compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café seco según el Variedad de café arábica.....	114
Figura 45 Interacción del método de extracción y variedad de pulpa del cerezo de café en el rendimiento de extracción.....	116
Figura 46 Color de las coordenadas L*a*b* de la variedad Colombia.	136
Figura 47 Color de las coordenadas L*a*b* de la variedad Geisha	137
Figura 48 Color de las coordenadas L*a*b* de la variedad Típica.....	137
Figura 49 Color de las coordenadas L*a*b* de la variedad Catimor.	138

Índice de Tablas

Tabla 1 Esquema experimental de variables de estudio	47
Tabla 2 Operacionalización de variables	48
Tabla 3 Materiales de laboratorio	52
Tabla 4 Equipos e instrumentos de laboratorio.....	53
Tabla 5 Reactivos.....	54
Tabla 6 Curva de calibración de fenoles totales	67
Tabla 7 Concentración de Trolox para la curva patrón.....	69
Tabla 8 Distribución de los tratamientos del diseño experimental	72
Tabla 9 Puntos altitudinales georreferenciados de cosecha de café arábica	76
Tabla 10 Coordenadas Lab* por cada Variedad de café.....	79
Tabla 11 Determinación de la diferencia de color	80
Tabla 12 Humedad del tejido fresco de las diferentes variedades	81
Tabla 13 Resultados de componentes polifenólicos por cada tratamiento del extracto de pulpa del cerezo de café.....	83
Tabla 14 Análisis de Varianza para Polifenoles Totales (SC Tipo III)	85
Tabla 15 Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para polifenoles por método de extracción.	86
Tabla 16 Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para polifenoles por variedad de café	87
Tabla 17 Resultados de actividad antioxidantes por cada tratamiento del extracto de pulpa del cerezo de café.....	95
Tabla 18 Análisis de Varianza para Actividad antioxidante (SC Tipo III).....	98
Tabla 19 Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para antioxidantes por método de extracción	99

Tabla 20 Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para antioxidantes por variedad de café ...	100
Tabla 21 Rendimiento de extracción para cada tratamiento de la pulpa del cerezo de café deshidratada del proceso de extracción.....	108
Tabla 22 Análisis de Varianza para Rendimiento de Extracción (SC Tipo III)	110
Tabla 23 Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para rendimiento por método de extracción.	111
Tabla 24 Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para rendimientos por variedad de café....	112
Tabla 25 Valores de las coordenadas L*a*b* de la variedad Colombia	136
Tabla 26 Valores de las coordenadas L*a*b* de la variedad Geisha	136
Tabla 27 Valores de las coordenadas L*a*b* de la variedad Típica	137
Tabla 28 Valores de las coordenadas L*a*b* de la variedad Catimor	138
Tabla 29 Polifenoles Totales.....	140
Tabla 30 Atributos del diseño experimental para Polifenoles Totales.....	141
Tabla 31 Medias ajustadas por mínimos cuadrados para Polifenoles Totales con intervalos de confianza del 95,0%	141
Tabla 32 Estadísticos descriptivos para Polifenoles según Variedad de café – cajas y bigotes	143
Tabla 33 Estadísticos descriptivos para Polifenoles según Método de extracción – cajas y bigotes.....	144
Tabla 34 Actividad antioxidante	146
Tabla 35 Atributos del diseño experimental para la actividad antioxidante	147
Tabla 36 Medias ajustadas por mínimos cuadrados para la Actividad Antoxidante con intervalos de confianza del 95,0%	147

Tabla 37 Estadísticos descriptivos para Actividad Antioxidante según Método de extracción – cajas y bigotes	149
Tabla 38 Estadísticos descriptivos para Actividad Antioxidante según Variedades de café – cajas y bigotes	150
Tabla 39 Rendimiento de extracción o capacidad de extracción	151
Tabla 40 Atributos del diseño experimental para el rendimiento de extracción.....	153
Tabla 41 Medias ajustadas por mínimos cuadrados para el rendimiento con intervalos de confianza del 95,0%	153
Tabla 42 Estadísticos descriptivos para Rendimiento según Método de extracción – cajas y bigotes	155
Tabla 43 Estadísticos descriptivos para Rendimiento según Variedad de café– cajas y bigotes	155

Índice de Anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	134
Anexo 2 Análisis de color de la pulpa del cerezo de café arábica en estado maduro.....	136
Anexo 3 Estadísticos descriptivos medias de las variables categóricas de estudio.....	140
Anexo 4 Estadísticos descriptivos de medias para actividad antioxidante.....	146
Anexo 5 Estadísticos descriptivos de medias para rendimiento extractivo.....	152
Anexo 6 Panel Fotográfico de la parte experimental de la investigación.....	158

Índice de Fotos

Foto 1 Desperdicio de pulpa del cerezo de café con alto valor bioactivo	158
Foto 2 Cosecha selectiva de las diferentes variedades de café arábica	158
Foto 3 Lavado de los cerezos de café y cargado a la tolva.....	159
Foto 4 Recepción de pulpa del cerezo de café	159
Foto 5 Pesado de la muestra de café, variedad Típica.....	160
Foto 6 Pesado de la muestra de café, variedad Colombia.	160
Foto 7 Secado de pulpa del cerezo de C. arábica (MEMMERT 160 Plus)	161
Foto 8 Pulverizado de la pulpa del cerezo de café	161
Foto 9 Refinado de la molienda.....	162
Foto 10 Pulpa del cerezo de café seca y pulverizada de las variedades.	162
Foto 11 Extracción por Soxhlet.....	163
Foto 12 Extracción por Maceración con agitación mecánica.....	163
Foto 13 Extracción asistida por Ultrasonido	164
Foto 14 Centrifugadora con cámara refrigerada (MPW 352R).....	164
Foto 15 Pipeteado de extractos en tubos falcón	165
Foto 16 Carga de los tubos falcón a la centrifugadora MPW-352R.....	166
Foto 17 Colectado de sobrenadantes en frascos BOE de 500 ml	166
Foto 18 Filtrado de las 12 muestras de extracto de café arábica	167
Foto 19 Envasado de las muestras en frascos BOE de 500 ml por replica.	167
Foto 20 Refrigeración de muestras (Samsung RS28A5F61SR).....	168
Foto 21 Concentración de los extractos en rotavapor BUCHI R-215	168
Foto 22 Final de separación del solvente de la muestra	169

Foto 23 Desecado de muestras en estufa con recirculación de aire forzado	169
Foto 24 Extractos desecados libre de solvente	170
Foto 25 Pesado y almacenamiento en congelación de las muestras.....	170

Resumen

TITULO: APROVECHAMIENTO DE LA PULPA DEL CEREZO DE CAFÉ (*Coffea arábica*) PARA LA EXTRACCION DE COMPONENTES BIOACTIVOS POR SOXHLET, MACERACION Y ULTRASONIDO¹

Autor: Roberto Carlos Arnado Puma²

¹Tesis de Pregrado – Para optar el Título Profesional de Ingeniería Agroindustrial

²Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – UNSAAC – FIP – EPIA.

El procesamiento del café genera como principal subproducto la pulpa de cerezo. Este residuo es una fuente potencial de antioxidantes que pueden recuperarse mediante diferentes técnicas para ser utilizados en la industria del café. Dado que hoy existe un marcado interés en el aprovechamiento de la pulpa del cerezo de café, como fuente de antioxidantes naturales, este trabajo tiene como objetivo evaluar los extractos de cuatro variedades de café arábica extraídos por tres métodos. Se determina rendimiento de extracción por ecuación matemática; su contenido de polifenoles totales mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu, y la actividad antioxidante por medio del ensayo DPPH. En tal efecto, se utilizó un diseño multi-factor categórico, con 12 tratamientos por triplicado; Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey HSD ($\alpha = 0.05$). Los resultados reportados muestran que todas las variedades de café arábica estudiadas presentan actividad antioxidante, asociadas al contenido de compuestos bioactivos (polifenoles) y al método de extracción. Las variedades Catimor y Típica concentraron mayor contenido de compuestos polifenólicos, actividad captadora de radicales libres, mientras que Colombia destacó por los mejores rendimientos de extracción. Entre métodos, Soxhlet superó claramente Ultrasonido en rendimiento; Maceración es la segunda en rendimiento en cuanto al contenido de compuestos bioactivos solubles en etanol; para maximizar la actividad antioxidante de los extractos, Ultrasonido se constituye como el método más efectivo. Se demuestra así que la pulpa del cerezo de café arábica representa un gran potencial en la búsqueda de componentes bioactivos con aplicación en el sector agroindustrial.

Palabras clave: Polifenoles, Antioxidantes, Rendimiento, Café arábica.

Abstract

VALORIZATION OF COFFEE CHERRY PULP (*Coffea arabica*) FOR THE EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPONENTS BY SOXHLET, MACERATION AND ULTRASOUND¹

Author: Roberto Carlos Arnado Puma²

¹ Graduate Thesis, Professional Title in Agroindustrial Engineering.

² National University of San Antonio Abad – UNSAAC – FIP – EPIA.

Coffee processing generates large volumes of pulp, a lignocellulosic per product rich in antioxidants suitable for industrial recovery. This study evaluated four Arábica varieties: Típica, Catimor, Geisha and Colombia extracted per three techniques: Soxhlet, maceration and ultrasound. Extraction yield was computed gravimetrically; total polyphenols were quantified per the Folin-Ciocalteu assay, and antioxidant activity was determined por DPPH. A multi-factor categorical design (12 treatments, triplicate) was implemented, and data were analyzed using ANOVA and Tukey's HSD test ($\alpha = 0.05$). All varieties produced antioxidant extracts, consistent with their phenolic content and the extraction route. Catimor and Típica concentrated the highest polyphenol Nivels and exhibited the strongest radical scavenging activity, whereas Colombia delivered the most consistent extraction yields. Across methods, Soxhlet maximized mass recovery; maceration provided the second highest recovery of ethanol soluble bioactives; and ultrasound was the most effective approach to maximize antioxidant activity of the resulting extracts. These findings indicate that coffee pulp is a promising feedstock for sourcing bioactive phenolics, and that method selection can be tailored to prioritize either yield (Soxhlet), phenolic recovery at moderate conditions (maceration), or functional antioxidant performance (ultrasound), supporting its valorization in the manufacturing sector.

Keywords: Polyphenols; Yield, Antioxidant, Coffee arabica.

Introducción

El café (*Coffea arábica*) es uno de los productos agroalimentarios de mayor producción del mundo, teniendo un gran impacto económico en la sociedad productora y consumidora. Según Ridder (2024) indica que la producción global de café alcanzó un récord de 87.3 millones de sacos de 60 kilogramos durante el año 2024. Sin embargo, la cadena productiva del café enfrenta desafíos medioambientales importantes, particularmente asociados a la generación de biorresiduos derivados del proceso de beneficio húmedo (Oliveira & Franca, 2015), donde el primer subproducto generado es la pulpa del cerezo de café (exocarpio), que representa entre 37.5% hasta el 40% del peso total del cerezo de café, dependiendo de la variedad, el estado de madurez y las condiciones de proceso.

Ante esta problemática, ha surgido un creciente interés por la valorización y aprovechamiento de los residuos agroindustriales del café, en particular de la pulpa del cerezo de café, como fuente de compuestos fenólicos con actividad antioxidante, con el fin de mitigar su impacto ambiental y, al mismo tiempo, generar valor agregado. Este enfoque constituye una estrategia promisorio y propone el aprovechamiento de la pulpa de *Coffea arábica* mediante métodos convencionales y no convencionales de extracción sólido-líquido para la recuperación de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y potencial uso como colorantes naturales en la agroindustria, en el marco de un modelo de economía circular (Murthy & Madhava Naidu, 2012).

La pulpa del cerezo de café contiene polifenoles capaces de actuar como donadores de electrones y secuestradores de radicales libres, efectos que se cuantifican mediante ensayos colorimétricos 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) para evaluar la actividad antioxidante como

alternativa de desarrollo de productos enfocados en la prevención de diversas enfermedades (Atrahimovich et al., 2021; Kussmann et al., 2023).

No obstante, la recuperación eficaz de estos compuestos bioactivos depende del método de extracción, mediante la difusividad en el solvente y la temperatura del método de extracción. Se estudió tres métodos de extracción: la Maceración con agitación, la extracción asistida por Ultrasonido, y extracción continua por Soxhlet, que provee extracción continua a temperatura elevada, con mayor riesgo de degradación térmica de compuestos sensibles (Janissen & Huynh, 2018)

Adicionalmente, la variedad de la pulpa del cerezo de café arábica (Catimor, Colombia, Geisha, Típica) puede modificar tanto la composición polifenólica como respuesta a la extracción, modulada por pigmentos presentes en la pulpa del cerezo de café. Esta variación sugiere que los efectos principales (método de extracción y la variedad del cerezo de café) deben considerarse categóricamente en el diseño experimental y en el análisis estadístico para inferencias válidas y comparables (Esquivel & Jiménez, 2012).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del método de extracción y la variedad de la pulpa del cerezo de café sobre el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y el rendimiento de los extractos obtenidos. Se analiza el efecto del método de extracción y la variedad de cerezo de café, mediante un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparaciones múltiples (Tukey, 5%).

La materia prima se sometió a un proceso de secado en estufa con recirculación de aire forzado, considerado como el método más adecuado para la conservación de las características fisicoquímicas de la pulpa, luego se pulverizó en un molido de bolas para la extracción de componentes bioactivos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

El café (*Coffea arábica*) constituye aproximadamente del 60 % al 70% de café producido en el mundo, aportando alto valor de compuestos bioactivos con potencial antioxidante (Tran et al., 2022) . El Perú cuenta con más de 425 000 hectáreas cultivadas de café, distribuidas en más de 25 variedades comerciales, donde la producción es realizada por pequeños y medianos caficultores (Julca et al., 2023). La provincia de La Convención del Departamento del Cusco, genera grandes volúmenes relevantes de pulpa del cerezo de café durante la postcosecha, con bajo aprovechamiento tecnológico como fuente de componentes bioactivos (MIDAGRI, 2021) En este contexto, existe una brecha de tecnología e información científica sobre los procesos extractivos más eficientes para establecer un proceso estandarizado que traduzca esta biomasa residual en extractos con alto rendimiento y componentes bioactivos que respondan con mayor valor antioxidante y que estos procesos sean reproducibles, condicionando su valorización y aprovechamiento en la industria alimentaria (Delgado et al., 2019). Esta brecha de conocimiento tecnológico impide dar valor agregado a este biorresiduo como fuente sostenible de componentes bioactivos con alto potencial antioxidante. El desarrollo de estrategias de valorización de este subproducto no solo contribuiría a la sostenibilidad del sector cafetalero, sino que también promovería modelos de economía circular que favorezcan el desarrollo socioeconómico de los caficultores locales.

En este contexto, se desarrolla la interacción de variables categóricas como el método de extracción y la variedad de la pulpa del cerezo de café que responden directamente al rendimiento de extracción, a la cantidad de componentes bioactivos recuperados con alto valor antioxidante. Por otro lado, el método de extracción y la variedad de pulpa del cerezo de café

modulan el rendimiento de extracto final y la recuperación de polifenoles totales con potencial antioxidante (Tran et al., 2022).

Las técnicas de extracción, así como las variedades de café seleccionadas responden al acceso de tecnología y materia prima disponible en la localidad de investigación, accesible para el aprovechamiento del subproducto por los agricultores de café arábica (Barragán et al., 2023). De persistir esta brecha de indeterminación de comparación entre el método de recuperación de extractos y la variedad de pulpa del cerezo de café, el pronóstico es desfavorable, con rendimientos bajos de los componentes bioactivos (polifenoles y fenoles) del subproducto; degradación térmica y pérdida de actividad antioxidante entre métodos extractivos. La variabilidad intrínseca de la materia prima y la sensibilidad del sistema extractivo seguirán traducándose en evidencia inconsistente para escalar. Este desconocimiento conlleva a la probabilidad del incorrecto aprovechamiento y la valorización de la pulpa del cerezo de café arábica en La Convención, del departamento del Cusco en el Perú.

En consecuencia, el control de pronósticos se orienta un diseño multi-factor categórico que aísla y pruebe los efectos del método de extracción (Soxhlet, Ultrasonido, Maceración) y variedad de café arábica (Catimor, Colombia, Geisha, Típica) sobre polifenoles totales, con actividad antioxidante mediante el ensayo DPPH y rendimiento de extracto entre el método y la variedad del cerezo de café. Asimismo, estandarizar la caracterización previa (altitud, humedad, madurez, color Lab*) y parámetros operativos (tiempo, temperatura, relación sólida: líquido) y solvente más óptimo en la localidad de estudio, para minimizar degradación y maximizar extracción (Delgado et al., 2019). De este modo, y en línea con la evidencia, se identificará la combinación óptima método de obtención de extracto y la variedad de la pulpa

del cerezo de café aplicable al contexto local y nacional, aportando a cerrar la brecha entre potencial bioactivo e implementación tecnológica de la pulpa del cerezo de café arábica.

1.1.1. Formulación Del Problema

1.1.1.1 Problema General

¿Cuál es el efecto del método de extracción y la variedad de pulpa del cerezo de café sobre el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y el rendimiento de los extractos obtenidos?

1.1.1.2 Problema Especifico

1. ¿Cuáles son las características de las variedades de pulpa del cerezo de café en función a sus variedad, altitud, humedad y grado de madurez?
2. ¿Existen diferencias significativas en el contenido de polifenoles totales, de los extractos obtenidos por Soxhlet, Maceración y Ultrasonido por variedades de café arábica?
3. ¿Existe diferencia significativa en la actividad antioxidante de los extractos obtenidos por Soxhlet, Maceración y Ultrasonido por variedades de café arábica?
4. ¿Existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción en función al método de extracción y de la variedad de pulpa del cerezo de café arábica?

1.1.2. Objetivos de la Investigación

1.1.2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del método de extracción y la variedad de la pulpa del cerezo de café sobre el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y el rendimiento de los extractos obtenidos.

1.1.2.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar la materia prima determinando el color en el espacio CIELAB de las variedades de la pulpa de cerezo de café arábica.
2. Determinar el contenido de polifenoles totales de los extractos de pulpa del cerezo de café mediante los diferentes métodos de extracción y las variedades de pulpa del cerezo de café arábica.
3. Determinar la capacidad antioxidante de los extractos de pulpa del cerezo de café mediante los diferentes métodos de extracción y las variedades de pulpa del cerezo de café arábica.
4. Determinar el rendimiento de los extractos de pulpa del cerezo de café mediante los diferentes métodos de extracción y las variedades de pulpa del cerezo de café arábica.

1.1.3. Justificación del Estudio

En el Perú, el cultivo de café representa una fuente fundamental de ingresos para los productores, abarcando más de 425000 hectáreas cultivadas con café de la especie Coffe arábica, distribuidas en más de 25 variedades comerciales (Julca et al., 2023). Actualmente, el Estado peruano, a través del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), con enfoque territorial de los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales vienen desarrollando iniciativas orientadas a fortalecer la producción de cafés de especialidad. Estas acciones se realizan en articulación con asociaciones de productores, cooperativas agrarias, pequeñas y medianas empresas cafetaleras, promoviendo prácticas agronómicas sostenibles, así como una cosecha y postcosecha selectiva, enfatizando el cultivo y producción de variedades con mayor rendimiento físico y alto rendimiento en taza. La pulpa generada en la postcosecha de cafés especiales son el principal enfoque para el aprovechamiento y valorización de estos biorresiduos.

Según MIDAGRI (2024), la Provincia de La Convención es el mayor productor de café arábica en la región Cusco con 1152 Toneladas de 2900 hectáreas cosechadas, que representa el 72.3% del Valor Bruto de la Producción (VBP) generado en la campaña agrícola 2024, destacando las variedades como Geisha, Bourbon, Típica, Colombia y Catimor con alto rendimiento físico y excelente calidad en Taza.

El impacto de la investigación permitirá identificar la combinación optima entre el método de extracción de compuestos bioactivos y la variedad de café arábica con mayor cantidad de compuestos bioactivos y actividad antioxidante, que maximice el rendimiento de extracción. Esta respuesta aportará una ruta tecnológica para valorizar la pulpa del cerezo de café, brindando conocimiento científico para el correcto aprovechamiento de este

subproducto, proveniente de cosechas selectivas de cafés especiales. Esto tiene un impacto directo en zonas productoras de café en el ámbito de investigación y crear nuevas cadenas de valor para la agricultura familiar, pequeña y mediana empresa; favoreciendo el empleo local, dándole valor agregado a la pulpa del cerezo de café, dinamizando la económica local de los involucrados en la cadena productiva de los cafés de especialidad.

La pulpa del cerezo de café conlleva un problema ambiental debido a su acumulación en zonas agrícolas y su disposición en cuerpos hídricos, quebradas, y cuencas, donde puede provocar procesos de fermentación no controlada y generación de compuestos indeseables para los ecosistemas. El beneficio ambiental es doble; por un lado, la valorización de la pulpa reduce su disposición inadecuada y, con ello, la carga orgánica potencial dispuesta en zonas agrícolas; por otra parte, el uso de extractos ricos en antioxidantes naturales puede sustituir aditivos sintéticos en matrices alimentarias. Con mayor conocimiento científico en la valorización por diferentes métodos y variedades café, se reducirá la cantidad de pulpa desperdiciada, así gran un porcentaje de la pulpa deshidratada podrá aprovechado y ser comercializado para la obtención de bebidas, la obtención de macerados de pulpa del cerezo de café arábica y más productos alimenticios con potencial antioxidante. Así, la investigación impulsa economía circular en la cadena cafetalera.

II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes de la Investigación:

2.1.1. Internacionales

Silva et al. (2020) realizaron un estudio sobre la extracción de compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café con la finalidad de comparar la eficiencia de los métodos convencionales y no convencionales aplicados con diferentes solventes. Para ello emplearon pulpa fresca y deshidratada, sometida previamente a secado en estufa a 40°C por 48 horas y pulverizada con un molino de bolas. Se utilizaron dos técnicas: el método convencional de extracción por baño maría (60°C, 1 hora) y la extracción asistida por Ultrasonido (35°C, 1 hora, 40 Khz). Tras la extracción, las muestras se centrifugaron a 3500 rpm por 20 minutos a 10 °C, se filtraron y se analizaron químicamente. Se determinaron compuestos fenólicos totales, flavonoides, taninos condensados y el perfil fenólico, además de la actividad antioxidante mediante ensayos DPPH, ABTS Y FRAP. Los resultados mostraron que la pulpa deshidratada, extraída con una mezcla de agua: etanol (1:1) y mediante baño maría, presentó los valores más altos de actividad antioxidante (DPPH 84.95%, ABTS 92.81% y FRAP elevado), así como mayor contenido de compuestos bioactivos (97.89 mg AG/g). En contraste, la extracción con etanol puro obtuvo niveles menores de actividad antioxidante y compuesto fenólicos. La técnica de Ultrasonido ofreció resultados aceptables, aunque ligeramente inferiores al baño maría, destacando 90.95 mg AG/g en compuestos bioactivos con una mezcla de etanol: agua. El análisis confirmó que las propiedades antioxidantes de cascara de café se relacionan con la cafeína y, específicamente, con el ácido clorogénico. En conclusión, el uso de la cascara

de café como materia prima para obtener extractos ricos en compuestos bioactivos es prometedor, siendo el método convencional con solvente mixto el que proporcionó los mejores resultados.

Andrade et al. (2012) realizaron un estudio sobre la obtención de extractos de la pulpa del cerezo de café y borra de granos de café (*Coffea arábica*) utilizando la técnica de extracción por fluidos supercríticos, con la finalidad de evaluar el efecto de operacionalización de las variables de extracción en la composición y conservación de los compuestos bioactivos, evaluado en la actividad antioxidante del extracto en comparación con técnicas de extracción convencionales. Para ello se utilizó borra de café seco y pulpa del cerezo de café deshidratado en una estufa a 318.15°K por 5 horas, logrando una humedad del 14%. Se utilizaron cuatro métodos de extracción, comparando sistemas de extracción a alta y baja presión: como no convencional a alta presión se realizó mediante la extracción por fluidos supercríticos con tres niveles de temperatura (313.15, 323.15 y 333.15°K) y tres niveles de presión (100, 200 y 300 bar), se utilizando Co₂ puro y etanol como cosolvente, con un ratio de 11gmin⁻¹, por un tiempo de extracción de 4.30 horas para la pulpa del cerezo de café y 2.30 horas con borra de café; las extracciones a baja presión por Soxhlet (150ml de solvente, 5 g de muestra, 6 horas), y Ultrasonido (210 ml de solvente, 7 g de muestra, 2 horas y 55Khz), con tres sistemas de solvente: hexano (Hx), diclorometano (DCM) y Etil acetato (EtOAc) y etanol (EtOH). Tras la extracción se separó el solvente de muestra por rota evaporación a presión de 650mmHg con una temperatura menor al punto de ebullición para evitar degradación de componentes bioactivos. Se determinaron componentes poli fenólicos totales y la actividad antioxidante mediante los ensayos DPPH y ABTS. Los resultados reportaron que la pulpa del cerezo de café arábica

deshidratada, extraída con Etanol por Soxhlet, presentó valores significativos elevados (Polifenoles totales $151 \pm 12 \text{ mgAGg}^{-1}$, EC50 $235.4 \text{ } \mu\text{gml}^{-1}$, %Actividad Antioxidante 90.3, Inhibición % 28.9 ± 0.5), la extracción por Ultrasonido reporto también valores elevados (Polifenoles totales $133.4 \pm 0.6 \text{ mgAGg}^{-1}$, EC50 $235.1 \text{ } \mu\text{gml}^{-1}$, %Actividad Antioxidante 91.5, Inhibición % 13.3 ± 0.2); el sistema de extracción a alta presión obtuvo valores bajos (Polifenoles totales $36 \pm 1 \text{ mgAGg}^{-1}$, EC50 igual a $630 \text{ } \mu\text{gml}^{-1}$, %Actividad Antioxidante 39.6, Inhibición % 11.8 ± 0.2) operando a 200 bar/323.15°K, siendo los valores máximos alcanzados por extracción con fluidos supercríticos. El análisis confirmó que las propiedades antioxidantes de la pulpa del cerezo de café arábica, teniendo un perfil químico del ácido clorogénico (ácidos cafeoilquínico, dicafeoilquínico, feruloilquínico y cumaroilquínico), también se detectaron ácido gálico, p-hidroxibenzoico, protocatéquico, vainílico y tánico, pero en concentraciones más bajas. En conclusión, la pulpa del cerezo de café como subproducto del procesamiento del café tiene alto potencial para la extracción de compuestos bioactivos, respaldando que los métodos a baja presión proporcionaron mejores resultados a comparación del método de extracción a alta presión.

Rojas Orduña et al. (2023) investigaron la utilización y aprovechamiento de la pulpa del cerezo de café (*Coffea arábica*) de la variedad caturra amarilla y roja optimizar su extracción por Ultrasonido (diseño factorial 2^3) y evaluar la capacidad antioxidante del extracto enriquecido, con miras a su aplicación alimentaria. Para efectuar la investigación la materia prima recolectada fue lavada, desinfectada y conservada en congelación (-18°C); para la extracción la materia prima fue deshidratado por convección forzada (40°C , 24 horas) y secado por liofilización (precongelado -80°C ; -40°C , 72 horas, 0.086 bar), continua con la molienda y el tamizado (250-425 μm). La extracción se realizó por

Ultrasonido (Frecuencia: 20 KHz, 30 min; baño de hielo) en pulpa del cerezo de café caturra (rojo y amarillo), con un sistema de solventes: mezcla de etanol: Acetato de etilo (80:20 y 20:80 % v/v) y una relación de Biorresiduo: Solvente (1:20 y 1:40 g/mL). Posterior a la extracción la muestra se filtró para su análisis fisicoquímico y el análisis químico se realizó por los ensayos DPPH y ABTS. Los resultados mostraron que la pulpa del cerezo de café caturra amarilla presento mayor concentración de componentes bioactivos (Carotenoides) secado por liofilización con la relación de pulpa del cerezo de café: solvente 1:40 (g/mL) y con relación de solvente Etanol: Acetato de etilo 20:80 % v/v, resultando 2.300 ± 0.146 mg/g contenido de carotenoides extraídos de la biomasa, el rendimiento máximo de extracción se reportó con la caturra roja con la relación de pulpa del cerezo de café: solvente 1:40 (g/mL) y con relación de solvente Etanol: Acetato de etilo 80:20 % v/v, resultando un rendimiento máximo de 7.302 ± 0.507 %, la concentración máxima de carotenoides en el extracto se obtuvo con la pulpa del cerezo de café caturra amarilla con la relación de pulpa del cerezo de café: solvente 1:20 (g/mL) y con relación de solvente Etanol: Acetato de etilo 20:80 % v/v con un valor de betacarotenos de 4.52 mg/g extracto . El análisis confirmo las propiedades antioxidantes del extracto enriquecido con valores máximos en el ensayo DPPH: 19.34 ± 1.14 μ g/g y ABTS: 721.08 ± 51.23 μ mol Trolox/g extracto. En conclusión, la variación cromática de la pulpa condiciona el perfil de compuestos antioxidantes y su recuperación; la liofilización reduce pérdidas frente a secado por estufa; y en la extracción por Ultrasonido, aumentar biomasa: solvente (1:40) eleva la biodisponibilidad de compuestos bioactivos e incrementa el rendimiento de extracción, mientras que elevar el solvente acetato de etilo en el binario Etanol: Acetato de etilo favorece la concentración de carotenoides en el extracto.

Tran et al. (2022) realizaron un estudio para evaluar la extracción de compuestos bioactivos con actividad antioxidante a partir de la pulpa del cerezo de café (*Coffea canephora*) por extracción asistida por Ultrasonido y Microondas. Para llevar a cabo el trabajo, se recolectó pulpa del cerezo de café húmedo (Robusta) conservándose a -20°C hasta el proceso de secado en estufa al vacío (90°C, 6 horas 30 minutos, 3.75 mmHg), luego pulverizada en un molino de cuchillas hasta lograr 1.4 mm de pulverizado para conservar a -18°C hasta el proceso de extracción. Se utilizaron dos métodos de extracción no convencionales: Ultrasonido variando el tiempo (5-65, amplitud 5 minutos), la temperatura (30-60, amplitud 10°C) y la potencia de sonicación (150,200,250 Watts); por otro lado, extracción asistida por Microondas variando el tiempo (10-80, intervalo 10 minutos), la potencia de radiación (300-900, amplitud 100 Watts) para determinar los parámetros óptimos de recuperación de compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café con potencial antioxidante, cuantificando por los ensayos ABTS, FRAP y DPPH, se cuantificó la cantidad de cafeína y ácido clorogénico de los extractos por HPLC. Los resultados reportaron que la pulpa del cerezo de café deshidratada (100:5) extraída con agua: etanol (1:1) mediante Ultrasonido con un tiempo de 35 minutos, 200 watts y 60°C, maximizó globalmente la recuperación de componentes bioactivos (Polifenoles: 9.72 mg AG/g y Flavonoides: 6.91 mg CE/g) con una media de actividad antioxidante (ABTS: 15.21 mg TE/g; DPPH: 1.87 mg TE/g; FRAP: 10.28 mg TE/g), en adición al aumentar la potencia a 250 Watts con 35 minutos y 60°C se optimizó la extracción (Polifenoles: 20.86 \pm 0.58 mg AG/g; Flavonoides: 18.77 \pm 1.07 mg CE/g) con alto poder antioxidante (ABTS: 57.65 \pm 1.16 mg TE/g; DPPH: 5.20 \pm 0.14 mg TE/g; FRAP: 35.85 \pm 1.80 mg TE/g). En contraste, la extracción asistida por Microondas, las variables óptimas de extracción

reportados fueron 70 minutos, 700 watts de potencia, produjo altos valores de recuperación de componentes bioactivos (Polifenoles: 46.72 ± 1.86 mg AG/g; Flavonoides: 36.44 ± 1.54 mg CE/g) con alto potencial antioxidante (ABTS: 109.55 ± 0.64 mg TE/g; FRAP: 84.73 ± 0.88 mg TE/g; DPPH: 11.02 ± 0.21 mg TE/g). El análisis por HPLC confirmó que las propiedades antioxidantes de la pulpa del cerezo de café están directamente relacionadas con las moléculas de cafeína (3.32 ± 0.26 mg/g) y ácido clorogénico (7.87 ± 0.54 mg/g). En conclusión, la recuperación de compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café considerada como desecho es prometedor, debido a su alta actividad antioxidante de los extractos. Además, afirmar que la técnica con mejores resultados es la extracción asistida por Microondas, recomendando para futuras aplicaciones.

Neves et al. (2019) realizaron un estudio para evaluar la eficiencia de métodos de extracción acuosa para recuperar fitoquímicos bioactivos de la pulpa del cerezo de café (*Coffea arabica*), con aplicación del extracto en la industria alimentaria. Para llevar a cabo la investigación se recolectó las bayas de café de cinco zonas de una finca en Brasil (latitud $13^{\circ}24'50.7''$ S, longitud $41^{\circ}17'7.4''$ W, altura 1027 msnm) posteriormente el lavado y despulpado en húmedo, el biorresiduo del beneficio para secar con radiación solar hasta una humedad del 10% HR y pulverizado en un molino de cuchillas para almacenarlo en refrigeración hasta su extracción. Se utilizaron cinco técnicas de extracción: por infusión (100°C , 10 minutos), decocción con agitación mecánica (100°C , 10 minutos), decocción sin agitación (100°C , 10 minutos), asistido por Ultrasonido (40 kHz, 25°C , 10 minutos) y percolación (100°C), para la extracción se utilizó el solvente universal (agua), con una relación de biorresiduo: agua 1:75 (p/v). Se cuantificó los polifenoles totales, flavonoides totales y la actividad antioxidante por el ensayo DPPH de los extractos acuosa. Los

resultados significativos reportados mostraron que la pulpa del cerezo de café deshidratada extraída por decocción con agitación presento los valores más altos de polifenoles totales (382.97 ± 0.03 mg AG/100 g), a diferencia Ultrasonido presento el valor más bajo (184.79 mg AG/g). para la caracterización química de los cinco lotes de pulpa del cerezo de café se utilizó el método de extracción decocción sin agitación obteniendo los valores máximos para el lote 5 (proveniente del centro) del punto de recolección (polifenoles: 454.59 ± 0.20 , flavonoides 8.47 ± 0.11 mg EQ/100 g, taninos condensados: 2.12 ± 0.74), la actividad antioxidante se evaluó solo en el extracto por decocción sin agitación reportando valores entre 2.73 - 4.71 mg/ml, siendo con mejor actividad antioxidante la pulpa proveniente del lote 4 (sur). En conclusión, el potencial del extracto acuoso con alto valor fitoquímico brinda alta capacidad antioxidante, aplicado en la elaboración de alimentos y bebidas con enfoque circular.

Delgado et al. (2019) realizaron un estudio en la pulpa del cerezo de café con el objetivo de evaluar el contenido de compuestos bioactivos y además preparar una bebida funcional por infusión como alternativa de utilización de este subproducto. Para alcanzar el objetivo de la investigación, se realizó la cosecha selectiva de dos variedades de café (variedad Caturra y Colombia) de la región de Nariño (2108 msnm; 20°C ; HR 85%), el despulpado se realizó de manera manual y conservar en congelación (-20°C), luego se deshidrato utilizando dos métodos de secado: por estufa (70°C , 7 horas) y liofilización. La materia deshidratada se pulverizo por un molino de cuchillas. Se utilizo la técnica de extracción por infusión en agua pura y acidificada con 1% de ácido clorhídrico (HCL), para evaluar el efecto de la temperatura y el Método de extracción sobre el contenido de polifenoles, y demás componentes bioactivos. Además, la actividad antioxidante por

ABTS, ORAC y FRAP. Con la pulpa alto valor antioxidante se preparó la bebida por infusión a 80°C para un análisis sensorial. Los resultados mostraron que la variedad Caturra en medio acidificado obtuvo un alto valor (453.21 mg AG/100 g) a comparación de la extracción en solo agua (254.6 mg AG/100 g), en contraste, la variedad Colombia obtuvo niveles menores de polifenoles totales (424.0 mg AG/100 g), a diferencia de la infusión con solo agua (284.1 mg AG/100 g). La actividad antioxidante alcanzó hasta ABTS 24 782.93 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$, ORAC 57 087.82 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$ y FRAP 806.93 mg AEAC/100 g; ABTS correlacionó con polifenoles totales y ORAC con taninos totales. Los polifenoles y flavonoides lograron mayor termo estabilidad a 90°C, con alto valor antioxidante en entre 40 a 70°C. La cafeína en infusiones fue entre 53.2 a 101.49 mg/L. En conclusión, existe diferencia significativa en la cantidad de compuestos bioactivos extraídos varía de acuerdo a la variedad de pulpa del cerezo de café en materia de investigación.

Esquivel et al. (2020) realizaron un estudio sobre el aprovechamiento de la pulpa del cerezo de café (*Coffea arabica L.*) con la finalidad de caracterizar mediante técnicas cromatográficas el perfil de los extractos el perfil de los componentes fenólicos de variedades de pulpa del cerezo de café (Caturra Rojo, Anaranjado, Catuaí rojo, Arábica rojo y Caturra amarillo). Para ello se recolectó, separó la cascara y pulpa manualmente, se conservó en nitrógeno líquido y se secó por liofilización. El estudio reveló que la variedad Caturra Amarillo (amarilla) presentó los mayores niveles de ácido 5-O-cafeoilquínico, alcanzando hasta 8,029.8 mg/kg en cáscara, así como los valores más altos de (epi)catequina hexósido, con 2,410.8 mg/kg. Estos compuestos están directamente asociados a la actividad antioxidante. En las variedades de exocarpo rojo se encontraron mayores concentraciones de antocianinas, como cianidina-3-O-rutinósido (hasta 97.7

mg/kg) y cianidina-3-O-glucósido (hasta 22.8 mg/kg), mientras que estas estuvieron ausentes en la variedad amarilla. En contraste, las variedades amarilla y naranja mostraron una mayor diversidad de carotenoides antioxidantes, incluyendo luteína, β -caroteno, violaxantina y neoxantina. Estos resultados indican que la composición de compuestos antioxidantes varía significativamente según el color del fruto, lo que sugiere que ciertas variedades como Caturra Amarillo ofrecen un mayor rendimiento en compuestos fenólicos totales y podrían ser más eficientes en procesos de extracción orientados a obtener ingredientes funcionales con actividad antioxidante. En conclusión, la pulpa del cerezo de café tiene alto valor bioquímico con potencial para reducir radicales libres, siendo fuente de bioactivos distintivos como las antocianinas y los carotenoides.

2.1.2. Nacionales.

Cruzalegui et al. (2021) realizaron un estudio bioactivo de la pulpa del cerezo de café con la finalidad de caracterizar los componentes fenólicos y la actividad antioxidante de la pulpa del cerezo de café (*Coffea arábica*) variedad Catimor mediante dos métodos de extracción. Para ello, utilizó pulpa del cerezo de café previamente secada por dos métodos: secado por estufa con aire caliente (48 - 50 °C) hasta una humedad del 8 al 10 %, y por liofilización (colector -85.8°C, Presión: 0.102 mbar, 48 h) seguida de pulverización, tamizado y almacenamiento en congelación. Se aprovechó la pulpa del cerezo de café procedente de tres fincas cafeteras de la región Amazonas (Rodríguez de Mendoza, Utcubamba y Luya); se utilizó cinco tipos de solvente (Agua, Etanol 50,95%, Metanol 50, 90%). Después del proceso de extracción sólido-líquido (1:20 w/v) las muestras se centrifugaron a 5000 rpm por 3 minutos a 20°C y los sobrenadantes se colectaron para el análisis de antioxidantes por los ensayos DPPH. Los resultados que la pulpa deshidratada

por liofilización presento los valores altos de contenido de compuestos bioactivos (250.7 mg AG/100g) procedente de la provincia de Utcubamba (307.5 mg AG/100g) con alto valor antioxidante (85.7%) a comparación de Rodríguez de Mendoza (80.3%), el solvente con mayor capacidad de extraer los compuestos polifenólicos (236.9 mg AG/100g) y con un valor máximo de rendimiento (54.9992%), seguido de metanol 50% (53.2%) y metanol 95% (52.9%). La pulpa del cerezo de café procedente de la región de Utcubamba presento mayor contenido de polifenoles totales y actividad antioxidante, siendo etanol 95% el más eficiente; la humedad promedio de la pulpa del cerezo de café tuvo un valor promedio de 82.73%. además, el rendimiento de la pulpa del cerezo de café con respecto beneficio húmedo del café de las tres provincias de Amazonas presento un valor promedio de 39.73%, En conclusión, los compuestos fenólicos. En conclusión, la pulpa del cerezo de café arábica tiene alto potencial de obtención de compuestos bioactivos con alto valor antioxidante, donde la liofilización conserva mejor sus características como el color y olor respecto al secado por estufa, y solventes utilizados en la presente investigación son el etanol y metanol son los que mayor capacidad tiene al extraer los compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

2.1.3. Locales.

Barragán et al. (2023) desarrollaron estudio sobre la influencia de la variedad y del método de conservación de los compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café que tuvo como finalidad extraer compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café, de las variedades Catimor y Típica, así como, comparar el impacto del método de conservación (in natura, seco y congelado) de estos residuos, sobre el contenido de pigmentos antocianicos, polifenoles totales y capacidad antioxidante cinco sistemas extractivos (agua

ultrapura; etanol 50 % y 95 %; metanol 50 % y 95 %). Los cerezos de café fueron recolectados en envases de vidrio para sus análisis en fresco (in natura), el otro método de conservación fue en seco por dos métodos: estufa (60°C, 48 horas) y liofilización (congelado-20°C, colector -85.8 °C, vacío 0.102 mbar, 48 h); posterior molienda y tamizado. Se utilizó metanol acidificado con HCl al 0,01%; la relación de solvente utilizado fue 1:10 (p/v) la mezcla se agito a temperatura ambiente por 24 horas, para luego filtrar con papel filtro, la muestra se concentró en una rota evaporadora con una velocidad centrifuga de 1000 rpm. Se cuantifico por fenoles totales por Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante por DPPH. Los resultados mostraron que la capacidad de extracción dependió de la variedad de café, método de secado como conservación y el solvente de extracción, globalmente el contenido de antocianinas oscilo entre 35.16–10.16 mg cianidina-3-G/100 g, y los polifenoles totales entre 1971.10–247.12 mg AG/100 g con actividad antioxidante por el ensayo DPPH entre 33.73–16.07 $\mu\text{mol trolox/g}$. La variedad Catimor presento valores superiores de polifenoles totales en pulpa del cerezo de café en estado fresco (769 mg AG/100 g) a comparación de la variedad Típica (265 mg AG/100 g), además la mayor capacidad antioxidantes se reportó que la variedad Catimor secado por estufa presento alto valor (33.73 $\mu\text{mol trolox/g}$) a comparación con la variedad Típica (16.06-19.31 $\mu\text{mol trolox/g}$); la liofilización preservo mejor las antocianinas en las dos variedades de pulpa del cerezo de café. En conclusión, La variedad y el método de conservación condicionan el perfil fenólico y la respuesta antioxidante de pulpa del cerezo de café, donde la variedad Catimor tiende a mayor fenoles totales y actividad antioxidante, mientras Típica aporta antocianinas ligeramente superiores; congelado favorece a la conservación de antocianinas,

que son un tipo de componentes bioactivos, y secado puede disminuir fenoles según variedad.

2.2. Bases Teóricas

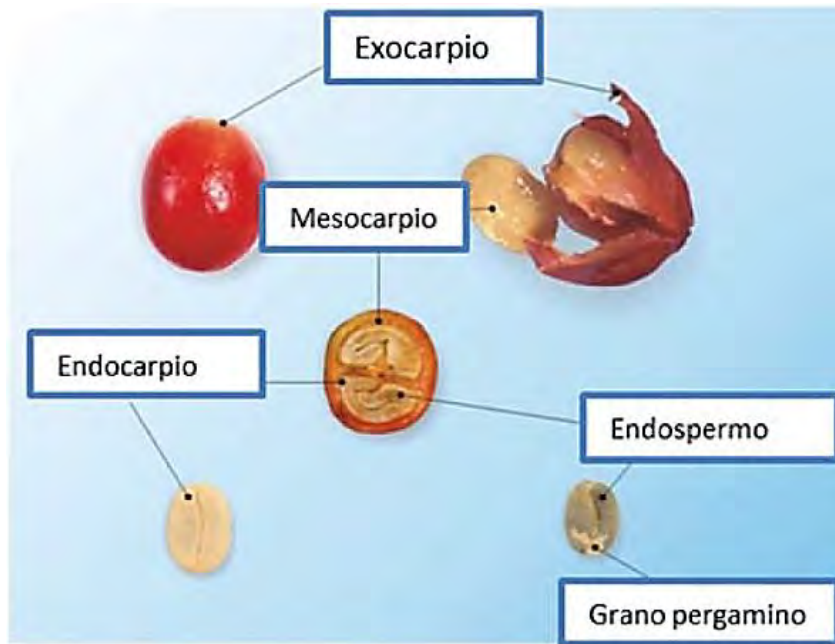
2.2.1. Café

Según Davis et al. (2006), el género *Coffe* posee tres especies que se usan en la producción de café, estos son *Coffe arábica* (café arábica), *Coffe cenophora* (café robusta) y *Coffe Liberica* (café liberica o café exelsa) de los cuales el café arábica es la variedad más comercializable con aproximadamente con el 60% de producción en todo el mundo, esta especie crece preferentemente en climas fresco y altitudes elevadas, por otra parte, café cenophora se desarrolla de mejor manera en un clima cálido y tropical; la producción del café robusta es aproximadamente el 40 % de la producción global (International Coffea Organization, 2014; Mannino et al., 2023).

El cerezo de café es un fruto producido por planta de *Coffea arábica*, esta familia esta segmentado por diferentes variedades, siendo las más conocidas, las variedades como Típica, Catimor, Bourbon, Geisha, que presentan las tonalidades rojas y las variedades Caturra y Colombia en tonalidades rojas y amarillas, esta característica se debe al film que envuelve el cerezo de café que le proporcionan el color característico; llamada pericarpio, luego sigue la capa carnosa que está bajo el pericarpio denominado como la pulpa del cerezo de café (exocarpio), seguido de la capa viscosa llamada mucilago de café (mesocarpio) que envuelve dos semillas de cascara dura y compacta que son los granos de café conocido como pergamino (endocarpio) y finalmente al quitar el pergamino nos encontramos con la última de protección que es una capa delgada adherida a la semilla de café (endospermo) de una tonalidad gris a blanco llamada cutícula (Temis et al., 2011).

Figura 1

Partes de cerezo del Café arábica



Nota: Adaptado de “*Producción de café (Coffea arábica L.)*” por Temis et al. (2011), Universidad De Las Americas Puebla.

2.2.2. Taxonomía

La clasificación taxonómica según Davis et al. (2006):

Reino: Vegetal

División: Magnoliophyta

Clase: Dicotyledoneae

Subclase: Asteridae

Orden: Rubiales

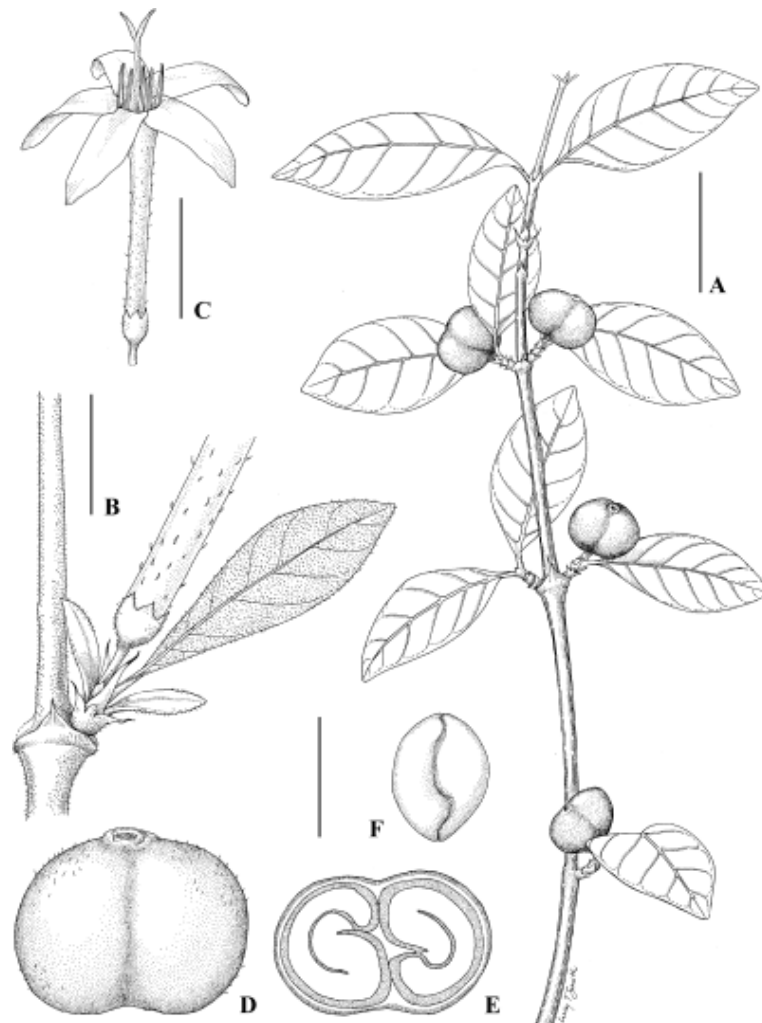
Familia: Rubiaceae

Género: Coffe

Especie: arábica

Figura 2

Planta de café arábica



Nota: Adaptado de “An annotated taxonomic conspectus of the genus Coffea”, por Davis et al. (2006). *Botanical Journal of the Linnean Society*. Donde se observa el brote fructífero (B), Inflorescencia (C), Flor (D), Fruto en sección transversal (E).

2.2.3. Variedades de café arábica

En el Perú existen más de 25 variedades cultivadas en un área mayor a 425000 hectáreas; actualmente en Perú, el germoplasma peruano se encarga de almacenar y

mejorar variedades con mayor rendimiento físico, con incidencia baja de roya y con puntaje en taza mayores o iguales a 80 puntos (Julca et al., 2023).

Figura 3

Café arábico de la variedad Catimor



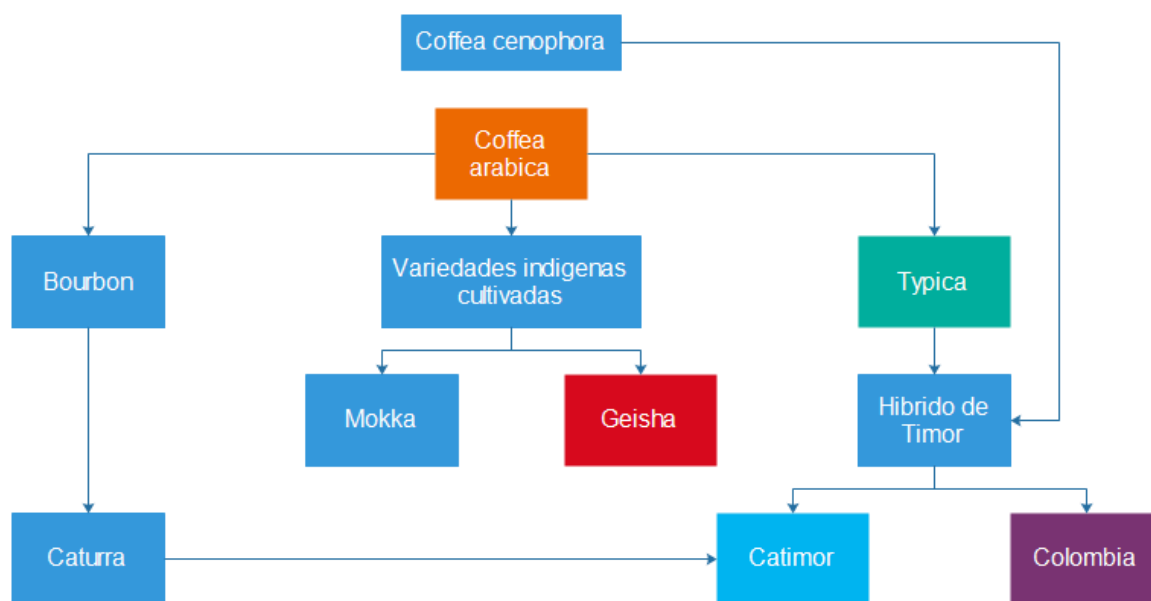
Figura 4

Coffea arábica variedad Colombia amarillo



Figura 5

Variedades de café arábica



Nota: Adaptado de “*Variedades de café (Coffea arábica), una revisión y algunas experiencias en el Perú*”, de Julca et al. (2023), Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 10(2), 134–155.

En la provincia de la convención, ubicada en el departamento del Cusco antes del año 2012 se cultivó principalmente la variedad Típica; debido a la crisis de la “roya” *Hemileia vastatrix* (plaga del café) se generó la crisis de la caficultura en el Perú, donde el mayor porcentaje de caficultores se vieron afectados las cuales obligaron al reemplazo por variedades resistentes con genética del híbrido Timor; y la hibridación con Caturra brota el Catimor rojo y las algunas zonas el Timor amarillo. La producción y comercialización de cafés especiales orgánicos es una oportunidad de lograr sostenibilidad al cultivo de café (Márquez-Romero et al., 2020). En la actualidad los caficultores están renovando sus parcelas con la variedad Geisha, por su alto valor en taza y buen rendimiento por hectárea, por el cual

es importante centrar la investigación esta variedad, en el aprovechamiento de su pulpa, con características únicas

2.2.4. Procesamiento Agroindustrial de café

El procesamiento primario del café conlleva una serie de etapas desde la postcosecha de los cerezos hasta obtener café oro o café verde. Primero se realiza la cosecha selectiva, esto involucra que los cerezos de café se recolectan por variedad y estado de madurez del fruto, evitando cosechar frutos verdes o pintones, sin mezclar con los frutos dañados por insectos o plagas; luego al lavado de los cerezos de café, donde se eliminan cerezos de baja densidad por flotación, para proceder con el despulpado; este proceso se realiza con la finalidad de quitar el exocarpio y mesocarpio de los cerezos de café mediante dos métodos de procesamiento: beneficio en húmedo y beneficio en seco, el cual dependiendo del proceso del cerezo de café los residuos sólidos obtenidos se denominarán pulpa del cerezo de café (vía húmeda) o cascarilla de café (vía seca) (Ashok et al., 2000). Después del despulpado sigue la fermentación, en la que el mucilago se desprende del pergamino, mediante procesos bioquímicos. Para determinar la finalización de la fermentación se debe realizar la prueba de palo, la misma que consiste en introducir un palo al fermento y si el hoyo no se desmorona al retirar el palo la fermentación está concluida y el café procede a lavar con agua limpia por tres repeticiones, retirando por completo el mucilago del pergamino; finalmente el café lavado se seca sobre tarimas en secaderos solares hasta alcanzar una humedad promedio del 11 al 12%, para proceder a almacenar en bolsas de GrainPro y sacos de yute (Montañez Artica et al., 2022). Los subproductos generados son la pulpa del cerezo de café y agua miel de lavado, donde falta fortalecer las capacidades de dar valor agregado para poder reducir esta biomasa, en

función a sus potencialidades bioactivas. El Café Pergamino aun cuenta con una cascarilla amarilla denomina endocarpio, y una cutícula gris. Para remover estos residuos, el café pergamino se traslada a una planta agroindustrial donde se descascarilla el pergamino y remueve la cutícula gris, para luego clasificar según la calidad de grano por tamaño y color para su exportación. En el Perú a través del Ministerio de la Producción viene implementando plantas de procesamiento de café pergamino para poder brindar soporte productivo a los productores de café de especialidad que trabajan con micro lotes para el comercio interior y exterior de este producto, es así como el Instituto Tecnológico de la Producción con la red Centro de Innovación productiva y Transferencia Tecnológica (CITE) brindan este soporte en sus plantas de procesamiento de café e investigación en tecnológica y aprovechamiento de los residuos que esta cadena productiva, de esta manera se da valor agregado en la cadena productiva del café. Conocer y caracterizar la pulpa del cerezo de café arábica facilita los procesos de transferencia tecnológica a los agricultores de esta cadena, con un enfoque en economía circular.

Figura 6

Planta de procesamiento primario del Café Pergamino



Nota: Planta piloto para el procesamiento del café pergamino del CITE productivo VRAEM, en el Distrito de Pichari, La Convención, Cusco.

Figura 7

Flujograma del beneficio del cerezo de café arábica



Nota: Adaptado de “*Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses*” por Ashok et al. (2000), *Biochemical Engineering Journal* 6(2)

2.2.5. Características fisicoquímicas de la pulpa del cerezo de café arábica

La pulpa del cerezo de café es un subproducto obtenido por el beneficio o procesado del café por vía húmeda, las características y nutrimentales según Fierro et al (2018) menciona que la pulpa del cerezo de café representa el 45% del peso del fruto maduro tendiendo una humedad del 85%, presentando un pH ácido menor a 5, también presenta alto contenido de compuesto fenólicos y excelente capacidad antioxidante.

2.2.5.1 Humedad de cerezo de café

La humedad de la pulpa del cerezo de café constituye una variable físico-química crítica, definida como la fracción de agua presente en este subproducto del procesamiento del fruto de café arábica. Este parámetro incide directamente sobre su estabilidad microbiológica, velocidad de degradación y factibilidad de aprovechamiento agroindustrial. La pulpa fresca puede alcanzar niveles de humedad comprendidos entre el 78 % y el 90 %, en función de factores como la variedad, el grado de madurez del fruto, y las condiciones edafoclimáticas de cultivo (Delgado et al., 2019).

2.2.5.2 Color de los cerezos de café

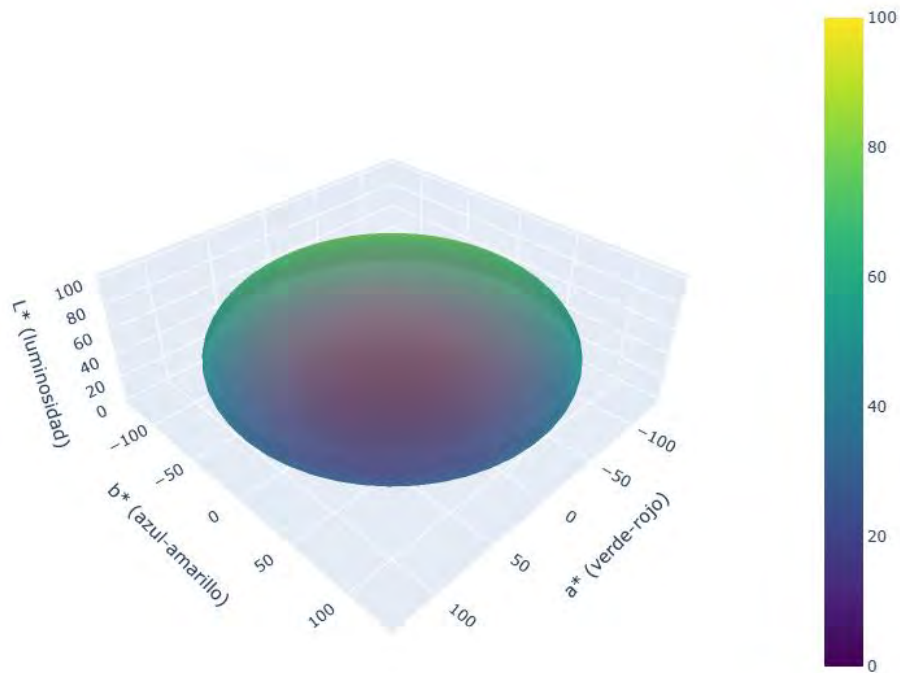
El color es una característica externa visible en las diferentes variedades de café arábica, el cual se presenta cuando el cerezo de café alcanza la madurez completa pasando de un color verde olivo a un color amarillo, rojo o anaranjado, determinando la calidad de los cafés de especialidad (Temis et al., 2011).

Para poder determinar el color del cerezo de café se utiliza el Espacio de color conocido como CIE Lab*, propuesto por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE)

con el objetivo de crear un sistema perceptualmente uniforme; este modelo es tridimensional se considera las variables de color,

Figura 8

Espacio de color tridimensional CIELab



Donde:

L^* = es la luminosidad varía desde 0 para un color negro hasta 100 para color blanco.

a^* = coordenadas rojo/verde, donde el signo positivo indica color rojo y si es negativo indica color verde.

b^* = coordenadas amarillo/azul, donde el signo positivo indica color amarillo y negativo indica color azul

Para diferenciar el color de 2 objetos o alimentos, podemos diferenciar por el color que hay en cada atributo o ver la diferencia global de color (ΔL^* , Δa^* y Δb^*).

ΔL^* = diferencia en luz y oscuridad (+ = más luminoso, - = más oscuro)

Δa^* = diferencia en rojo y verde (+ =más rojo, -= más verde)

Δb^* = diferencia en amarillo y azul (+ =más amarillo, -= más azul)

ΔE^* = diferencia total de color

Para determinar la diferencia total de color entre las tres coordenadas, se debe usar la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Donde delta E indica la magnitud de la diferencia total del color, diferenciando un producto de otro, en función a sus características *Lab y determinar si existe diferencia significativa o no de un cerezo de café a otro.

2.3. Componentes bioactivos

2.3.1. Determinación de componentes bioactivos

Según Kussmann et al. (2023) los compuestos bioactivos son compuestos que se encuentran en toda la matriz de la planta y los alimentos, siendo de mucha importancia para la salud humana y del planeta, pero no están siendo debidamente valoradas; mientras se enfrenta desafíos apremiantes para la salud del planeta, investigar, invertir y desarrollar soluciones basadas en bioactivos es una oportunidad para proteger la biodiversidad y de igual manera crear valor para los consumidores y productores.

La naturaleza ofrece compuestos bioactivos de forma natural de forma ilimitada que tienen efectos beneficiosos para la salud humana, actuando estos como alimentos funcionales. Estos compuestos bioactivos se pueden clasificar en macronutrientes, micronutrientes, fitonutrientes y reguladores la flora intestinal (Kussmann et al., 2023).

Figura 9

Clasificación de compuesto bioactivos alimentarios



Nota: Adaptado de “*Bioactive compounds for human and planetary health*”, por Kussmann et al. (2023), *Frontiers in Nutrition* (10).

Según Hoang & Kim (2021) los fitonutrientes constituyen los compuestos fenólicos, alcaloides, terpenos y compuestos organosulfurados, estos compuestos se generan en el metabolismo secundario de las plantas, estos compuestos trabajan en conjunto con otros nutrientes generando una variedad de beneficios para salud humana, incluyendo la capacidad antioxidante.

2.3.2. Polifenoles

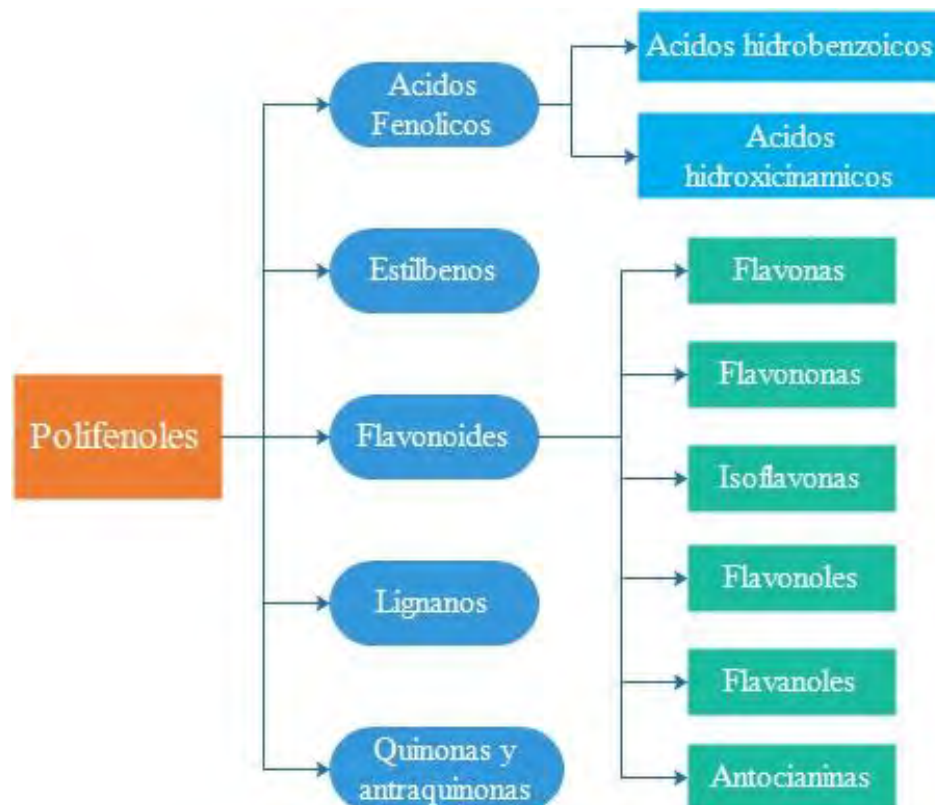
Los polifenoles son metabolitos secundarios biosintetizados por diferentes especies vegetales y botánicas, las rutas de biosíntesis que dan origen a los fenoles incluyen la del ácido shikímico y del acetil co-A y metabolismo mixto, y comparten al menos una estructura de anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo; existe una variada cantidad de polifenoles, entre estos tenemos a los flavonoides, cumarinas, lignanos, estilbenos,

ligninas, ácidos cinámicos y benzoicos, estudios han demostrado que el consumo de polifenoles reduce enfermedades cardiovasculares y el cáncer por la reducción del estrés oxidativo gracias a su alta capacidad antioxidante (Rana et al., 2022; Van Duynhoven et al., 2011).

Los polifenoles son un conjunto de moléculas constituidas por anillos aromáticos, denominados como fenilpropanos. Los polímeros fenólicos se clasifican de acuerdo a número de anillos fenólicos que forma cada molécula como los ácidos fenólicos, flavonas, antraquinonas, estilbenos y lignanos (Martínez, 2020).

Figura 10

Clasificación de los polifenoles



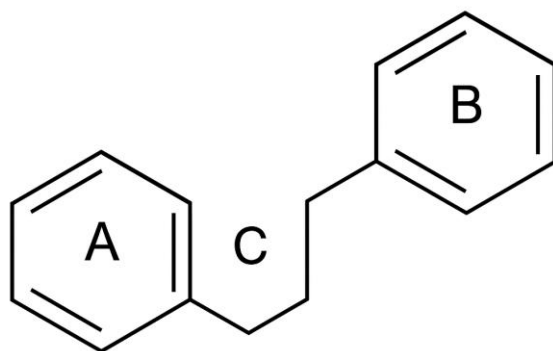
Nota: Los polifenoles están compuestos por moléculas de alto valor antioxidante; adaptado de Flavonoides, por Martinez (2005), Universidad de Antioquia.

2.3.3. Flavonoides

Los flavonoides son compuestos químicos de los sistemas bioquímicos, Los flavonoides constituyen una clase diversa de metabolitos secundarios polifenólicos ampliamente distribuidos en tejidos vegetales, incluyendo residuos agroindustriales como la pulpa del cerezo de café arábica (Delgado et al., 2019). Diversos estudios han evidenciado que la pulpa del cerezo de café contiene flavonoides tales como epicatequina, catequina, y sus derivados glicosilados, que presentan actividad antioxidante significativa al actuar como donadores de electrones capaces de neutralizar radicales libres, quelar metales de transición y modular enzimas oxidativas (Esquivel et al., 2020).

Figura 11

Estructura química base de un flavonoide



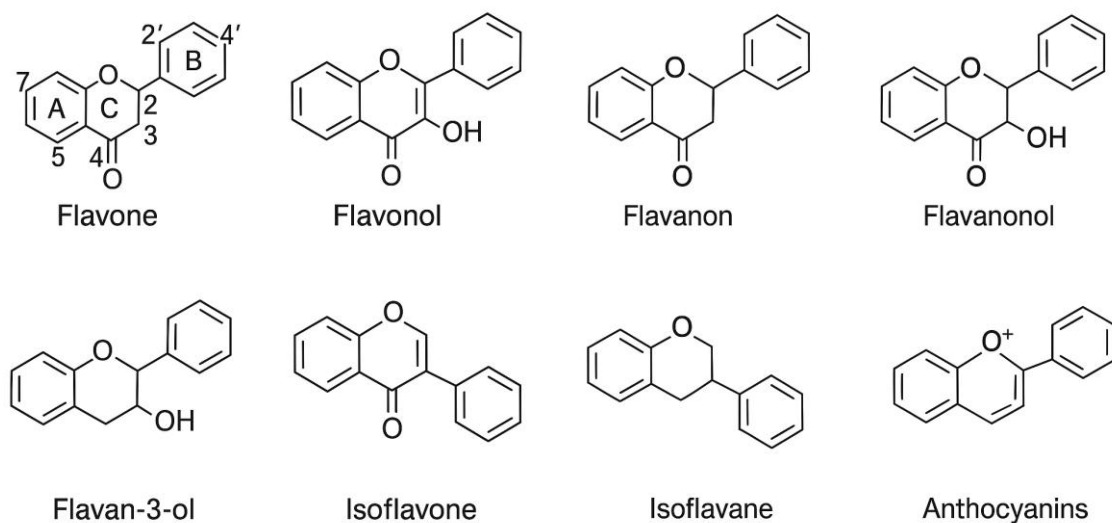
Nota: Adaptado de *Flavonoides*, de Martinez (2005), *Universidad de Antioquia*.

Los flavonoides son una clase de polifenoles que deben o deberían ser consumidos en la dieta diaria, debido a que reduce el estrés oxidativo (OS) en la célula, y esto está asociado con enfermedades crónicas; por lo que se les atribuye a los flavonoides actividad antioxidante (Panche et al., 2016). Los flavonoides poseen una estructura química basada en el esqueleto flavona (C6-C3-C6) y se dividen en moléculas más específicas o subgrupos, como los flavones, flavonones, flavononol, flavan-3-ol, isoflavonas, y antocianinas. Los

flavonoides son productos naturales ampliamente distribuidos en el reino vegetal, donde que los investigadores en la industria alimentaria se han interesado cada vez más debido a sus propiedades antioxidantes, por eso, debe incluir su consumo abundante en la dieta diaria y prevenir diversas enfermedades como el cáncer, cardiovasculares y neurodegenerativas (Atrahimovich et al., 2021). Estudios han evidenciado que la pulpa del cerezo de café contiene flavonoides tales como epicatequina, catequina, y sus derivados glicosilados, que presentan actividad antioxidante significativa al actuar como donadores de electrones capaces de neutralizar radicales libres, quelar metales de transición y modular enzimas oxidativas (Barragán et al., 2023).

Figura 12

Estructura de las principales clases de flavonoides



Nota: Adaptado de “*Flavonoids-macromolecules interactions in human diseases with focus on alzheimer, atherosclerosis and cancer*” (p.2) por Atrahimovich et al. (2021), *Antioxidants* 3 (10).

2.3.4. Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles pertenecientes al grupo de los flavonoides, responsables de la coloración roja, púrpura y azul en diversas partes de las plantas. En la pulpa de *Coffea arábica*, su presencia ha sido confirmada en distintas variedades, especialmente aquellas con frutos de tonalidades intensas, como Caturra, Catuai y Típica (Barragán et al., 2023; Esquivel et al., 2020).

En estudios recientes se ha determinado que la conservación de la pulpa del cerezo de café por secado contribuye a preservar las antocianinas, minimizando su degradación térmica y oxidativa. Valores de contenido de antocianinas totales, expresados como mg de cianidina-3-glucósido por 100 g de muestra seca, han oscilado entre 10.16 y 35.16 mg/100 g en pulpas secas de las variedades Catimor y Típica, lo cual evidencia un potencial significativo como fuente de colorantes naturales con actividad antioxidante (Barragán et al., 2023).

2.4. Actividad Antioxidantes

Según Kussmann et al. (2023) un antioxidante es una molécula que puede inhibir o retrasar la oxidación de otras moléculas, protegiendo las células del daño inducido por radicales libres o especies reactivas de oxígeno (ROS, Reactive Oxygen Species). Estos compuestos actúan a través de varios mecanismos, incluyendo la donación de electrones o átomos de hidrógeno, la quelación de metales y la inhibición de la generación de (ROS), lo que contribuye a mitigar el estrés oxidativo y el daño celular resultante.

Los antioxidantes pueden provenir de alimentos, plantas y la miel de abeja para su consumo diario para neutralizar moléculas no estables y finalizando la reacción en cadena de

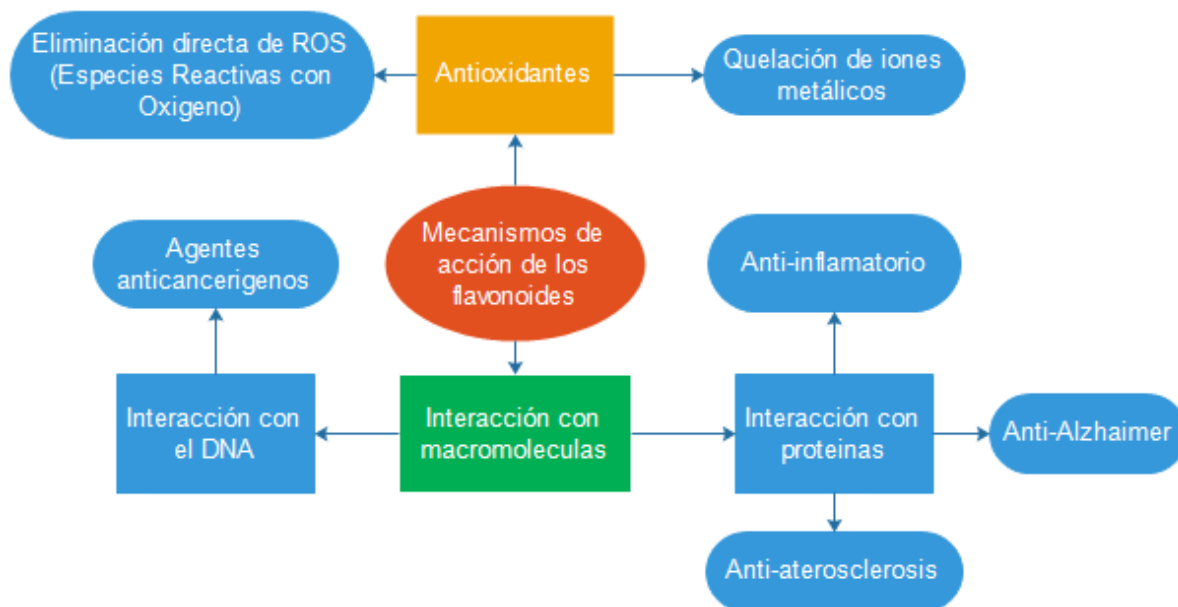
la molécula no estable, previniendo efectos negativos en las funciones fisiológicas del ser humano (Lawag et al., 2023).

2.4.1. Componentes bioactivos como antioxidantes

Según Atrahimovich et al. (2021) menciona que, en cuanto a su actividad antioxidante, se sabe que los flavonoides previenen enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (OS) mediante varios mecanismos. Estos incluyen la captura directa de especies reactivas de oxígeno (ROS) a través de la donación de un átomo de hidrógeno, la activación de enzimas antioxidantes, la capacidad de quelar metales como el hierro y el cobre, y la reducción del estrés oxidativo causado por el óxido nítrico (NO).

Figura 13

Modo de acción de los flavonoides a través de su interacción con macromoléculas.



Nota: Adaptado de “*Flavonoids-macromolecules interactions in human diseases with focus on alzheimer, atherosclerosis and cancer*” (p.3) por Atrahimovich et al. (2021), *Antioxidants* 3 (10)

2.5. Métodos de Extracción de compuestos bioactivos

El uso de compuestos bioactivos en diversos sectores comerciales como las industrias farmacéutica, alimentaria y química evidencia la necesidad de contar con el método más idóneo para extraer estos componentes activos a partir de materiales vegetales. Además de los métodos convencionales, se han desarrollado nuevos métodos no convenciones de extracción de compuestos bioactivos. La eficiencia de los métodos de extracción, tanto convencionales como no convencionales, depende en gran medida de los parámetros como temperatura y tiempo de extracción, y de las características de la matriz vegetal, así como, de la química de los compuestos bioactivos (Azmir et al., 2013).

2.5.1. Maceración

Es una metodología convencional solido-liquido de obtención de compuestos bioactivos como los polifenoles, flavonoides y antocianinas, donde la muestra se mezcla con el solvente por un tiempo específico a una temperatura determinada (Manzoor et al., 2021).

Según C. J. López et al. (2018) la Maceración es un método no implica utilizar temperaturas elevadas, donde que puede ocasionar el deterioro parcial de compuestos bioactivos como los polifenoles; por lo tanto, la extracción será más eficiente para compuestos bioactivos termolábiles, requiriendo mayor tiempo de extracción con temperaturas bajas y menor tiempo de extracción con temperaturas elevadas, teniendo en cuenta la degradación térmica de los compuestos. Según las condiciones físicas de la materia prima, este método requería que se agite la mezcla solido-liquido, para mejorar el contacto del solvente con la materia prima, logrando mediante una maceración dinámica.

Figura 14

Equipo incubación con agitación orbital



Nota: Adaptado de Laboratorios Biosan (2025), <https://biosan.lv/es/>. cc por 4.0.

2.5.2.Extracción por Soxhlet

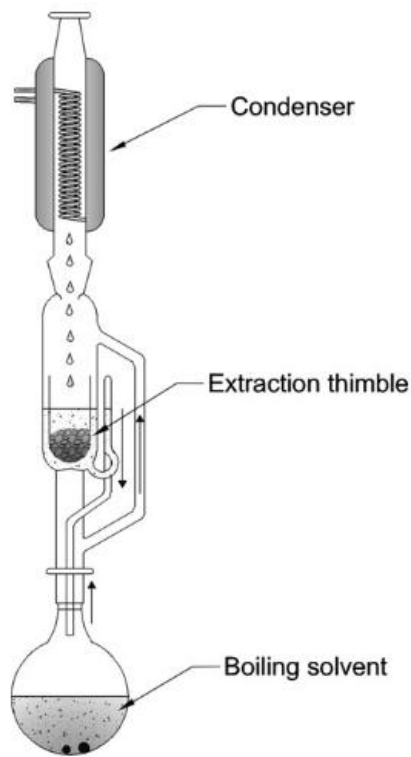
La extracción Soxhlet es un método de extracción sólido-líquido bajo el principio continuo de recirculación del solvente orgánico, permitiendo la extracción eficiente del compuesto bioactivos, para extraer estos compuestos se utilizan un variado número de solventes orgánicos, el metanol, etanol, agua, metanol; pero también ser una mezcla de etanol una mezcla de etanol: agua, metanol: agua y metanol acidificado (Myo et al., 2024).

Según M. A. López & Catro de Luque (2020) el proceso de extracción Soxhlet se efectúa de la siguiente manera; la muestra se coloca en un cartucho que se llena gradualmente con el solvente condensado desde un matraz de destilación. Cuando el líquido alcanza un cierto nivel, un sifón lo aspira del cartucho y lo descarga nuevamente en el matraz de destilación, llevando los compuestos extraídos de la muestra al líquido principal. Este proceso se repite hasta completar la extracción. La técnica combina

características de procesos continuos y discontinuos, ya que, aunque el solvente se aplica en etapas, se recircula constantemente a través de la muestra, proporcionando un sistema continuo (Zygler et al., 2012).

Figura 15

Sistema de extracción Soxhlet



Nota: Adaptado de *Soxhlet Extraction and New Developments Such as Soxtec* (p. 68), por Zygler et al. (2012), University of Technology.

2.5.3. Extracción asistida por Ultrasonido

El Ultrasonido es una onda sonora que oscila entre 20 kHz hasta los 100 MHz, siendo esta onda imperceptible por el oído humano, de igual forma, esta onda atraviesa un medio físico creando compresión y expansión en el medio, a esta actividad se lo conoce como cavitación, que significa la creación, expansión y colapso de burbujas, generando en

este proceso altas temperaturas en el sistema. La cavitación ocurre únicamente en líquidos y en materiales sólidos que contienen líquidos. El mayor beneficio de la extracción asistida por Ultrasonido (UAE) se nota en las muestras de plantas sólidas, ya que la energía ultrasónica ayuda a extraer compuestos orgánicos e inorgánicos de la estructura de la planta.

Figura 16

Equipo de extracción asistida por Ultrasonido



Nota: Adaptado de *Aplicación De Ultrasonido Como Pretratamiento En La Extracción Por Microondas* (p. 74), por Figueroa Fernández (2022), Universidad Agraria la Molina.

2.5.4. Extracción por arrastre de vapor

En este método de extracción en el cual la materia vegetal se coloca en contacto directo con un disolvente orgánico volátil donde los compuestos aromáticos se disuelven en el solvente extractor y son arrastrados hasta un sistema de enfriamiento. Gracias a la destilación al vapor es posible la separación de sustancias insolubles en agua y aquellas ligeramente volátiles en comparación con otras sustancias no volátiles. Debe agregarse agua redundante en la mezcla en la cual encontrarás el producto que buscas separar (Hijar et al., 2017).

También Sevillano et al. (2019) realizó un escalamiento a nivel piloto, optimizando el sistema de extracción por arrastre de vapor, en función a la densidad de carga y el flujo de vapor teniendo en cuenta la humedad de la materia prima.

Figura 17

Equipo de extracción de bioactivos por arrastre de vapor



Nota: Imagen tomada en el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba.

2.5.5. Hidrodestilación

La hidrodestilación es un método en el cual la muestra biológica está en contacto directo con el disolvente, esta mezcla se lleva a ebullición con el calor proporcionado por una superficie calefactora, el vapor producido transporta compuestos bioactivos, como los terpenos y triterpenos contenidos en el material biológico (Hijar et al., 2017).

La hidrodestilación es uno de los métodos de extracción de componentes bioactivos en la industria de los a nivel laboratorio, piloto e industrial, este método de extracción es

útil para el aprovechamiento de compuestos bioactivos como los terpenos y triterpenos de algunos subproductos utilizando agua como solvente, donde los tiempos de destilación dependerá de la matriz vegetal; también existe perdidas de alguno compuesto aromáticos termolábiles los cuales son compuestos aromáticos de gran valor los cuales se pierde al extraer aceite esencial por este método. (Ferhat et al., 2007).

Figura 18

Equipo de extracción de bioactivos por hidrodestilación



Nota: Imagen tomada en el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba.

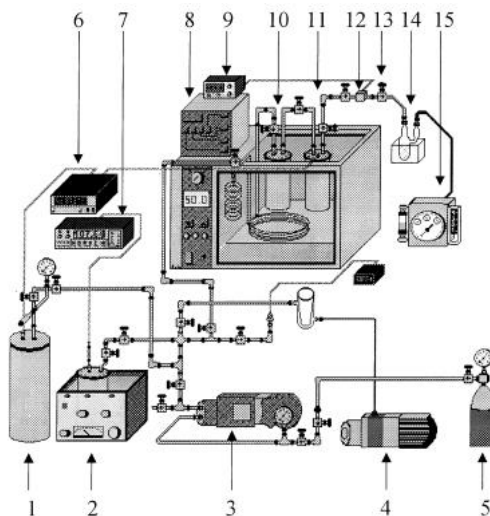
2.5.6. Extracción por Fluidos Supercríticos

Considerada como un Método de extracción que tiene un bajo impacto ambiental, donde el cual el soluto utilizado en la operación de extracción es recuperado con facilidad y reciclar el solvente mediante la manipulación de parámetros como la temperatura y presión del equipo extractor (Cerna Mejia & Torres Orzelis, 2020). Para la obtención de compuestos bioactivos de la cascara de café. Se utiliza cosolventes como el etanol o metanol para su mejor eficiencia; este método es eficiente, pero el costo de obtención es elevado en comparación con otros métodos (Andrade et al., 2012).

Según García Jara, J. (2017) afirma que “La extracción por fluidos supercríticos es una operación unitaria que explota el poder disolvente de fluidos supercríticos en condiciones encima de su temperatura y presión críticas.

Figura 19

Sistema de Extracción por Fluidos Supercríticos



Nota: Adaptado de “Solubility of *n*-octadecane in supercritical carbon dioxide at 310, 313, 333 and 353 K, in the range 10-20 Mpa” de. Eustaquio & Trejo (2001), Fluid Phase Equilibria, 185 (1).

2.6. Marco Conceptual

2.6.1. Espectrofotometría UV-visible

Es materia presente en la naturaleza tiene la propiedad de absorber, transmitir y reflejar luz, de igual manera la materia refleja esa luz con diferente frecuencia, cuantificando esto de acuerdo al número de la onda, esta propiedad de la materia ayuda a medir y cuantificar usando la espectrofotometría. La espectrometría Uv- vis tiene una longitud de onda del monocromador de 185 a 400 nanómetros (nm) y rango visible de 400 a 700 nm, de tal forma aprovecha que cada compuesto químico es diferente uno con otro

por la forma en que absorbe, transmite o refleja un rango específico de longitudes de onda de la luz, Murali & Yasir (2022).

Figura 20

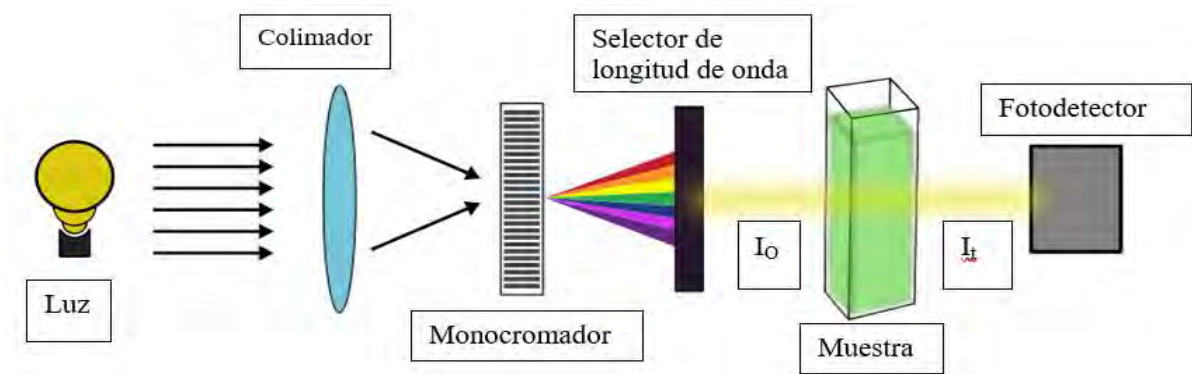
Diagrama de bloques espectrofotometría UV vis



Nota: Adaptado de *Colorimetry* (p. 3), por Murali & Yasir (2022) IntechOpen.

Figura 21

Funcionamiento elemental del espectrofotómetro



Nota: Adaptado de *Colorimetry* (p. 3), por Murali & Yasir (2022) IntechOpen.

2.6.2. Pulpa del cerezo de café

Es fracción externa del café constituido por el exocarpio y mesocarpio del cerezo de café arábica, obtenida del beneficio o despulpado húmedo del cerezo de café que contiene compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides, betalainas) de alto valor antioxidante (Fierro et al., 2018).

2.6.3. Extracción solida liquido

Es la operación de transferencia de masa que usa un solvente orgánico como etanol, agua, metanol u otros, con la capacidad de solubilizar metabolitos de las matrices vegetales; es la vía estándar para recuperar bioactivos en subproductos alimentarios (Andrade et al., 2012).

2.6.4. Infusión

Es el proceso de inmersión breve de una matriz vegetal en agua a una temperatura determinada para extraer solutos termolábiles (Neves et al., 2019).

2.6.5. Decocción

Es el proceso de ebullición donde la temperatura permanece constante en su punto de ebullición del solvente, con o sin agitación mecánica, para acelerar la extracción (Neves et al., 2019).

2.6.6. Extracción asistida por Ultrasonido

Es la extracción que utiliza el principio de cavitación acústica, donde se forman microburbujas para colapsar en la estructura de la matriz vegetal que fratura las paredes celulares y libera solutos (Tran et al., 2022).

2.6.7. Secado por estufa

Es el proceso de deshidratación por convección con recirculación de aire forzado, a temperatura controlada para estabilizar la materia prima previa a la extracción solido-liquido (Rojas Orduña et al., 2023).

2.6.8. Liofilización

Es el proceso de secado a una presión determinada, el hielo se sublima, pasando del estado sólido al gaseoso, preservando compuestos termosensibles, así como características estructurales y el color de la pulpa del cerezo de café (Cruzalegui et al., 2021).

2.6.9. Relación solido-liquido

Es la proporción de la masa respecto al volumen que gobierna gradientes de concentración y salida de solutos (Setter et al., 2019).

2.6.10. Sistemas de solventes

Es la mezcla de dos o más solventes en función a la polaridad y afinidad para una mejor y eficiente extracción; esta nueva mezcla regula la estabilidad de los componentes bioactivos de los extractos (Delgado et al., 2019).

2.6.11. Polifenoles totales

Es la medida colorimétrica redox con el reactivo Folin-Ciocalteu; se calibra con ácido gálico donde la ecuación define la pendiente de reactivo como patrón y se expresa como mg AG/g (Neves et al., 2019; Tran et al., 2022).

2.6.12. DPPH

El 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), es un compuesto químico orgánico que se utiliza para realizar el ensayo radicalario que estima la capacidad de reducción de radicales libres, expresado como EC50 o equivalentes de Trolox (Geremu et al., 2016).

2.6.13. EC50

Es la concentración de extracto que reduce el 50% el radical DPPH; a menor EC50, mayor potencia antioxidante (Rojas Orduña et al., 2023).

2.6.14. Acido clorogénico

Es el compuesto orgánico de los esteres cafeoil-quinicos predominantes que explican gran parte de la capacidad antioxidante de la pulpa del cerezo de café (Esquivel et al., 2020).

2.6.15. Antocianinas

Es el pigmento que determina desde el punto del observador el color de la pulpa del cerezo de café, pertenece al grupo de los flavonoides (Esquivel et al., 2020).

2.6.16. Cafeína

Es un alcaloide metilxantinico, cuantificado comúnmente por HPLC en la pulpa del cerezo de café, que explican la actividad antioxidante en extractos procedentes de la cadena productiva del café (Esquivel et al., 2020).

2.6.17. Rendimiento de extracto

Es la capacidad de recuperación de componentes bioactivos tras la eliminación completa del solvente, siendo el indicador de productividad de un proceso o método extractivo, interpretándose conjuntamente con la actividad antioxidante de los componentes bioactivos recuperados (Cruzalegui et al., 2021; Tran et al., 2022).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El método de extracción y la variedad de la pulpa del cerezo de café arábica influyen significativamente en el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante y el rendimiento de los extractos obtenidos.

3.1.2. Hipótesis Específicas

1. Existe diferencia significativa en los parámetros de color CIELAB entre las variedades de pulpa del cerezo de café arábica.
2. El contenido de polifenoles totales de los extractos varía significativamente dependiendo de la interacción entre el método de extracción utilizado y la variedad de la pulpa del cerezo de café arábica.
3. La capacidad antioxidante de los extractos varía significativamente dependiendo de la interacción entre el método de extracción utilizado y la variedad de la pulpa del cerezo de café arábica.
4. El rendimiento de los extractos varia significativamente dependiendo del método de extracción utilizado y la variedad de la pulpa del cerezo de café arábica.

3.2. Identificación de Variables

3.2.1. Variables independientes

- Método de extracción de compuestos bioactivos.
- Variedad de la pulpa del cerezo de café arábica.

3.2.2. Variables dependientes

- Polifenoles totales
- Capacidad antioxidante
- Rendimiento de extracción

Tabla 1

Esquema experimental de variables de estudio

Variables Independientes		Variables Dependientes
Variedad Pulpa del cerezo de café arábica	Extracción	Polifenoles Totales
Catimor		(mg ácido gálico/g)
Colombia		
Geisha		Capacidad
Típica		Antioxidante
Método de extracción		(µg Trolox/g)
Maceración		Rendimiento de
Soxhlet		Extracción
Ultrasonido		(g de extracto/g solvente)

3.3. Operacionalización de Variables

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Dimensiones	Indicador	Instrumento
Variables Independientes					
Variedad de Café arábica	Característica del café arábica con diferencias fisicoquímicas y fisiológicas.	Se utiliza cuatro variedades de pulpa del cerezo de café	Catimor	Color	Colorímetro
			Colombia		
			Geisha		
			Típica		
Método de extracción	Proceso Solido-Liquido que transfiere solutos polifenólicos/antioxidantes desde la pulpa al solvente	Se utiliza tres métodos de extracción con un solvente determinado	Maceración	Tiempo Temperatura	Cronometro Termómetro
			Soxhlet		
			Ultrasonido		
Variables Dependientes					
Rendimiento de extracción	Proporción de sólidos extraídos	masa extracto seco entre masa del solvente	Rendimiento	g de extracto/g solvente	Relación (%)
Polifenoles totales	Suma operacional de fenoles reductores	FolinCiocalteu (765 nm), curva con ácido gálico	Polifenoles totales	mg ácido gálico/g	Folin-Ciocalteu
Capacidad antioxidante	Capacidad de reducir DPPH	DPPH a 517 nm; curva con trolox.	Actividades antioxidantes	µg trolox/g	DPPH

IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Ámbito de investigación

El presente trabajo se inscribe en la biovalorización de subproductos del café (*Coffea arábica*) generados por el beneficio en húmedo en la provincia de La Convención (11 °15'00"—13 °30'00" S; 71 °00'00"—74 °00'00" O; 1 200–1 600 m s. n. m.) de la región del Cusco. Esta provincia concentra el 7.48% de la producción nacional de café arábica siendo el principal producto agrícola con un valor bruto de la producción del 48.5% logrando 46,654.53 hectáreas cosechadas de café arábica en el 2024 (MIDAGRI, 2024).

4.2. Tipo y nivel de investigación

El presente estudio es cuantitativo, aplicado y experimental. Primero la investigación tiene un enfoque cuantitativo por que la investigación solo admite objetividad, con la finalidad de describir, explicar y comprobar causalidad, con un enfoque sistemático y estandarizado desarrollado bajo un diseño experimental basado en la recolección y análisis estadístico de datos numéricos mediante mediciones objetivas con la finalidad de describir las variables y establecer una relación de causalidad entre las variables manipulables y observar el efecto en las variables dependientes, así poder explicar los cambios (Hernández Sampieri et al., 2014).

En ese sentido el estudio es experimental, por la manipulación las variables independientes: el método de extracción (control de condiciones de extracción solido-liquido), y la variedad de pulpa del cerezo de café arábica con medición objetiva de las variables independientes: polifenoles, actividad antioxidante y rendimiento. El trabajo se desarrolló bajo un diseño experimental factorial multinivel, aportando confiabilidad y validez a los resultados (Hernández Sampieri et al., 2014; Liang et al., 2025).

El propósito de la investigación es de carácter aplicado, debido a que genera conocimiento transferible para el más óptimo aprovechamiento de pulpa del cerezo de café arábica, donde busca explicar cómo el método y la variedad (y su interacción) causan cambios en polifenoles totales, actividad antioxidante y rendimiento (Montgomery & Wiley, 2013).

4.3. Población

La biomasa generada del proceso de despulpado en húmedo de 1152 Toneladas de 2900 Ha cosechadas de café arábica que representa el 72.3% del Valor Bruto de la Producción del Distrito de Santa Ana de La provincia de La Convención en la campaña agrícola 2024 (MIDAGRI, 2024).

4.4. Muestra

Se aplicó un muestreo probabilístico estratificado, donde el primer estrato es la variedad de pulpa del cerezo de café arábica (Catimor, Geisha, Típica y Colombia) y la georreferenciación altitudinal de la recolección de muestras (1551-1660 msnm.), donde por cada estrato se muestreo aleatoriamente por cada parcela de la finca certificada. Se cosecho aleatoriamente 40 kilogramos de cerezos maduros por cada variedad, luego se tendrá 16 kg de biorresiduo total generado post despulpado, finalmente se procederá a deshidratar 2 kg como submuestra y finalmente tener 50 g de submuestra analítica por unidad experimental (Montgomery & Wiley, 2013).

4.5. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se ejecutó en el Laboratorio de Biología y en el laboratorio de Química de la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba (UNIQ) de la Provincia de La Convención, Departamento del Cusco, Laboratorio de investigación, análisis y

preparación de productos orgánicos y el Laboratorio de cromatografía y productos naturales de la Universidad Nacional del San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

4.6. Materia prima

Se utilizó cuatro variedades de pulpa del cerezo de café arábica, este producto se recolectó en el fundo Laccoyunca, perteneciente a la Central COCLA LTDA. *producers and exporters of coffee* procedente de la provincia de La Convención, Distrito de Santa Ana, Departamento del Cusco.

La zona de recolección de muestra está ubicada cerca de la reserva natural de Tunkimayo, perteneciente a la cuenca hidrográfica de Chuyapi, en la comunidad rural Esmeralda entre 15 a 20 minutos de la ciudad de Quillabamba, Santa Ana, La Convección. Zona de productores de café de especialidad por variedades para la exportación.

La variedad Catimor: Esta muestra se recolectó el 26 de mayo del 2024 del fundo Laccoyunca ubicado en la comunidad rural de Esmeralda, cuenca de Chuyapi. El proceso inició por la mañana a las 8:00 horas, donde se inició la recolección del cerezo de café hasta las 12:00 horas, se colectó una cantidad de 40 kg de cerezos de café arábica por cada variedad para obtener 16 kg de pulpa del cerezo de café aproximadamente, posteriormente se preparó la máquina despulpadora en húmedo en la planta de beneficio del café, lavando con abundante agua, finalmente se cargó las bayas de café a la tolva para de esta manera iniciar el despulpado; se colocó una bolsa de grado alimentario para colectar la pulpa del cerezo de café de la máquina.

Variedad Colombia: Esta muestra se recolectó el 28 de mayo del 2024 del fundo Laccoyunca, ubicado en la comunidad rural de Esmeralda, cuenca de Chuyapi. El proceso de cosecha de café inicio en las 8:00 horas, terminando a las 13:00 horas, el despulpado se realizó

según lo descrito con la variedad Catimor, colectando en una bolsa de polietileno grado alimentario.

Variedad Típica: Esta muestra se recolectó el 30 de mayo del 2024 del fundo Laccoyunca ubicado en la comunidad rural de Esmeralda, el proceso de cosecha de café inició en las 9:00 horas, terminando a las 1:00 horas, el despulpado se realizó según lo descrito con la variedad Catimor, recolectando en una bolsa de polietileno grado alimentario.

Variedad Geisha: Esta muestra se recolectó el 4 de junio del 2024 del fundo Laccoyunca Bellavista ubicado en la comunidad rural de Esmeralda, el proceso de cosecha de café inicio en las 8:00 horas, terminando a las 14:00 horas, el despulpado se realizó según lo descrito con la variedad Catimor, colectando en una bolsa de polietileno grado alimentario.

4.7. Materiales, equipos y reactivos

Para desarrollar esta investigación se hizo uso de los siguientes materiales de laboratorio, equipos especializados y reactivos que se describen a continuación.

Tabla 3

Materiales de laboratorio

MATERIAL	DESCRIPCIÓN	MARCA
Vaso de Precipitados	50, 100, 250 y 500 ml	GLASSCO
Varilla de vidrio y/o Baguete	20 cm	GLASSCO
Matraz Erlenmeyer	250, 500ml	ISOLAB
Frasco con Tapa Rosca	500 ml	BOECO
Probeta	50, 250; 500 ml	ELAB
Pipeta automática variable	0-10 ml	DLAB
Bandeja Inoxidable	1 Kg	MEMMERT

Embudo de vidrio	Mediano	GLASSCO
Papel Filtro Cualitativo	40 micras	WHATMAN
Saco plástico	GRAINPRO	FIBTEX
Bolsa Ziploc	ND	ND

Tabla 4

Equipos e instrumentos de laboratorio

EQUIPO / INSTRUMENTO	MARCA
Balón De Fondo Redondo Boca Esmerilada 500 Ml (23/32)	GLASSCO
Sifón Soxhlet	GLASSCO
Condensador de Bolas	GLASSCO
Manta De Calentamiento	GLASSCO
Mangueras De Goma	GLASSCO
Soporte Universal	GLASSCO
Balanza Analítica	SATORIOS BCE224I-1S OHAUS TS-1205
Balanza De Precisión	SATORIUS PRACTUM6100-S1
Estufa Con Recirculación De Aire	MEMMERT 160 Plus HERAEUS UT-5042
Incubadora Con Agitación Refrigerada	LAUDA VS 45 OI
Centrifugadora Con Cámara Refrigerada	MPW 352R
Multifunctional Grinder Machine	GM-500S1

Molino De Centrifugación	RETSH ZM 200 ultra
Equipo De Ultrasonido	ES xtra TT 120H
Rotavapor	Buchi S-150
Analizador De Humedad	EXACT-SCALE DH-EX200
Espectrofotómetro	GENESIS 20 THERMO ELECTRON
Colorímetro	CHROMA METER CR-400
GPS	Garmin OREGON 750
Sistema De Refrigeración	Samsung RS28A5F61SR
Congelador	Indurama RI439D
CONSERVADORA DE ALIMENTOS	CC0123

Tabla 5

Reactivos

REACTIVO/INSUMO	MARCA
Agua Destilada	GLF
Etanol 96°	ALKOFARMA
Folin Ciocalteu	BIOPACK
DPPH	THERMO SCIENTIFIC

4.9. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

4.9.1. Metodología experimental

Como materia prima o material biológico se utilizó la pulpa del cerezo de café de la especie arábica (*Coffea arábica*) de la variedad Catimor, Típica, Colombia y Geisha. El proceso de despulpado se realizó en húmedo. Para el aprovechamiento de la pulpa del cerezo de café y la extracción de compuestos bioactivos de las cuatro variedades de Café arábica siguió de acuerdo a flujo de trabajo experimental el cual se describe a continuación.

4.9.1.1 Cosecha selectiva

La recolección o cosecha de materia prima es el punto de partida de la investigación, este proceso se realizó según el protocolo de recolección selectiva de la WCR (World Coffea Research) y la SCA (Specialty Coffee Association) considerando características físicas la variedad y el estado de madurez de los cerezos de café, recolectando una variedad por día entre las 8:00 a 14:00 horas.

La variedad de café Típica se caracteriza por una coloración rojo oscuro en estado de madurez, mientras que la variedad Catimor presenta un rojo intenso. La variedad Colombia exhibe una coloración amarilla, y la Geisha muestra tonalidades que varían entre el anaranjado y el rojo, asociadas a plantones sanos y con un manejo agronómico adecuado. La recolección de los frutos se llevó a cabo en fechas diferenciadas para cada variedad, utilizando bolsas de grado alimentario, a fin de preservar las condiciones higiénicas y la calidad de la materia prima y evitar la degradación de los componentes bioactivos a extraer.

Figura 22

Cosecha selectiva de cuatro variedades de café arábica



4.9.1.2 Lavado y despulpado

Los cerezos de café recolectados fueron sometidos a un proceso de lavado con agua potable para eliminar residuos de tierra, materia orgánica adherida y otras impurezas superficiales, a fin de obtener pulpas limpias y aptas para el procesamiento. Antes del proceso de despulpado, se realizó la limpieza y desinfección de la despulpadora, equipo que facilitó el proceso, asegurando condiciones higiénicas adecuadas para la separación de la pulpa.

El despulpado de café se realizó en proceso húmedo en la zona de beneficio de café del Fundo, implementado con una despulpadora eléctrica semiautomática, este equipo separa los granos de la pulpa por contacto de la camiseta (dinámico) y el pechero (estático). La pulpa se colectó en bolsas Grain Pro para su transporte.

Se colectó en total 6 kg de pulpa del cerezo de café en húmedo, 2 kg por cada Variedad de café, la biomasa se depositó en bolsas de polipropileno de grado alimentario para su transporte inmediato al laboratorio de biología de la UNIQ.

4.9.1.3 Secado

La pulpa del cerezo de café es de fácil fermentación, debido a la cantidad de humedad que tiene (<80%) y el mucilago que cubre al pergamino de café, siendo medio de cultivo óptimo para las bacterias del medio ambiente, donde la temperatura ambiental promedio es de 25-30°C durante el día.

El biorresiduo de café se secó en estufa con recirculación de aire (MEMMERT 160 Plus) a una temperatura de 40°C por tiempo de 48 horas, hasta una humedad menor al 12%. Se colocó en 6 kg de pulpa del cerezo de café en 3 bandejas, se pesó 2 Kg por cada bandeja para un secado uniforme del material biológico.

4.9.1.4 Molienda y Pulverización

Después del proceso de secado se obtuvieron cantidades mayores a 453 g de pulpa deshidrata por cada variedad. La pulpa del cerezo de café seca se pulverizó primeramente en un Multifuncional Grinder Machine (GM-500S1) de 500 g de capacidad, a 3200 rpm por un tiempo de 1 minuto y posteriormente se refinó en el molino de centrifugación (RETSH ZM 200 ultra) con un tamiz de distancia de 0.25 milímetros con orificios trapezoidales, por un tiempo de 1 minuto desde 2000 rpm hasta 8000 rpm. Las muestras se colectaron en bolsas ziploc y se almacenaron en refrigeración a 4°C.

4.9.1.5 Extracción Soxhlet

La extracción Soxhlet se desarrolló de acuerdo a la metodología de Andrade et al. (2012), a partir del cual realizo algunas modificaciones en los parámetros de extracción. El proceso de extracción se realizó en el aparato Soxhlet (GLASSCO) con una relación de solvente y materia prima de 1:10 (p/v). Se utilizó 50 g de pulpa de *C. arábica* seca y pulverizada, y se colocó en el sifón acondicionado con papel filtro numero 40 con algodón, sobre el cual recirculo 500 ml de etanol como solvente por un tiempo de 4 horas a una temperatura de 72°C (punto de ebullición del etanol) a una altura de 1080 msnm, se utilizó 500 ml de disolvente (etanol 96°).

Figura 23

Extracción de componentes bioactivos por Soxhlet.



4.9.1.6 Extracción por Maceración

La extracción por Maceración se realizó según lo descrito por Barragán et al. (2023), con algunas modificaciones. Para el proceso de extracción se utilizó la incubadora con agitación. La relación solida liquido fue de 1:10 (p/v), se utilizó 4 matraces aforados Erlenmeyer de una capacidad de 500 ml. Se peso 50 g de materia prima seca, agitando con 500 ml de etanol de forma manual por un tiempo de 5 minutos. Finalmente se colocó en la incubadora con agitación refrigerada (LAUDA VS 45 OI), a una temperatura de 30°C por un tiempo de 24 horas con una agitación de 200 rpm.

Figura 24

Extracción de componentes bioactivos por Maceración con agitación.



4.9.1.7 Extracción asistida por Ultrasonido

La extracción asistida por Ultrasonido se realizó según la metodología de Tran et al. (2022), en el cual se utilizó el equipo de baño ultrasónico (ES xtra TT 120H) que operó

a una frecuencia de 37 KHz con una potencia de 1000 W y un voltaje de 220 V. La relación solida liquido fue de 1:10 (p/v), se utilizó 4 matraces aforados Erlenmeyer de una capacidad de 500 ml. Se peso 50 g de materia prima seca, agitando con etanol de forma manual por un tiempo de 5 minutos. Las muestras se colocaron en baño ultrasónico a una temperatura de 60°C por un tiempo de 35 minutos.

Figura 25

Extracción de componentes bioactivos asistida por Ultrasonido



4.9.1.8 Centrifugación

Las muestras de los diferentes métodos de extracción se centrifugaron de acuerdo a la metodología de Silva et al. (2020). Se utilizó la centrifugadora con cámara refrigerada (MPW 352R) a una velocidad de 3500 rpm a una temperatura de 10°C por un tiempo de 20 minutos. Los extractos obtenidos por los tres Método de extracción (Soxhlet, Maceración y Ultrasonido) se pipeteo 40 ml de extracto en tubos falcón de 50 ml de

capacidad, luego se cerró en 4 capsulas de 3 tubos falcón de capacidad, para finalmente cargar las capsulas a la centrifugadora; antes de iniciar se realizó un enfriamiento rápido hasta llegar hasta 10°C de temperatura. Al finalizar la centrifugación los sobrenadantes se colectaron en matraz de 500 ml para finalmente filtrar y almacenar.

4.9.1.9 Filtración

Con la finalidad de eliminar residuos o partículas físicas de las muestras se filtró por gravedad en papel cualitativo 40 g/m² (Barragán et al., 2023). Para filtrar las muestras se utilizó una probeta de 500 ml y un embudo de vidrio. Las muestras filtradas se colectaron en frascos BOE de 500 ml. Se rotularon correctamente y se conservó en refrigeración a 4°C.

4.9.1.10 Concentración

La evaporación del extracto obtenido debe separarse a una temperatura no superior a los 50°C, con la finalidad de garantizar la no degradación de compuestos bioactivos de interés como los polifenoles.

La concentración de compuestos bioactivos se realizó en una rota evaporadora (BUCHI R-215) en el cual se separó el solvente (etanol) de las muestras a presión de vacío de 175 mbar, el balón de la muestra se sumergió en baño maría a una temperatura de 50°C con una rotación de 80 rpm por un tiempo de 1 a 2 horas, dependiendo de el volumen de la muestra. Las muestras se cargaron en un balón Buchi de 500 ml, se colocó en el equipo, de igual manera, se instaló el balón de recuperación de solvente; luego se presurizo el sistema de 670mbar hasta 157 mbar, se inició la rotación a 80 rpm para iniciar el proceso hasta concentrar el extracto.

4.9.1.11 Dsecación

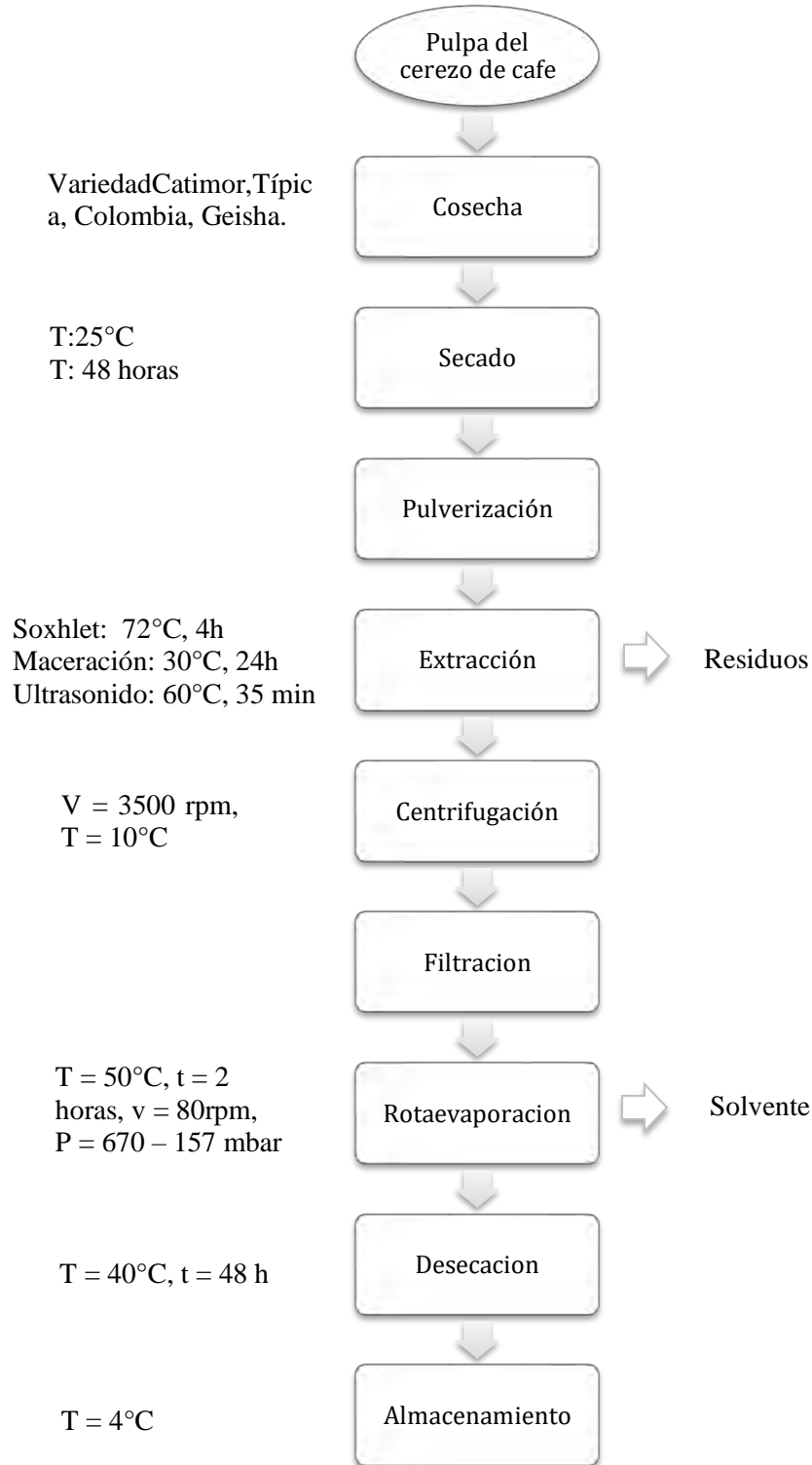
Para poder eliminar por completo el solvente de la muestra se desecó la muestra en estufa a 40°C con recirculación de aire forzado HERAEUS UT-5042 por un tiempo de 48 horas; se pesó la masa total en la balanza analítica OHAUS TS-1205 después del proceso de desecado, para poder obtener el rendimiento de los compuestos bioactivos de todos los tratamientos presentados.

Las muestras desecadas de componentes bioactivos se pesaron para calcular el rendimiento de extracción según la ecuación de Cruzalegui et al. (2021). Al finalizar el proceso las muestras se cerraron herméticamente, se cubrió con papel aluminio para proteger de la luz y evitar la degradación de compuesto bioactivos fotosensibles, finalmente se conservó en congelación hasta su análisis.

La metodología experimental de la investigación del aprovechamiento de la pulpa del cerezo de café arábica para la obtención de compuestos bioactivos se desarrolló de acuerdo al Flujograma que se muestra a continuación, donde cada proceso del diagrama se especificó anteriormente.

Figura 26

Diagrama de flujo del procesamiento de la materia prima



4.9.2. Metodología de georreferenciación de la materia prima

Según Cruzalegui et al. (2021), es importante localizar el punto de recolección de la materia prima, así como la altura proveniente. Para determinar la referencia geográfica del punto de recolección de materia prima se utilizó un instrumento de geolocalización por coordenadas GPS Garmin OREGON 750 que permitió determinar la ubicación geográfica exacta del punto de recolección de muestras de las variedades café arábica en referencia a las coordenadas de latitud, longitud y altitud con alta precisión.

4.9.3. Metodología para determinar el color de la pulpa del cerezo de café arábica.

En análisis de color de la pulpa del cerezo de café arábica se realizó según la metodología de Esquivel et al. (2020), para ello se utilizó cerezos de café arábica en estado maduro. Para poder analizar el color de la pulpa del cerezo se utilizó el sistema de espacio de color tridimensional CIEL*a*b*, utilizando un colorímetro Konica Minolta CHROMA METER CR-400, se retiró el pericarpio de las muestras en estado fresco, luego se colocó en placas Petri para conservarla por el tiempo de análisis de las muestras. Se realizó cuatro repeticiones por cada muestra, primero se corrió una prueba en blanco para calibrar el instrumento, luego se colocó la pulpa del cerezo de café en el porta muestras para poder realizar la lectura de las coordenadas L*a*b* correspondiente a cada variedad de café arábica en esta investigación.

4.9.4. Metodología para determinar la humedad de la pulpa del cerezo de café arábica

Según Barragán et al. (2023) para determinar la humedad de la materia prima en fresco y en seco se realizó utilizando el analizador inteligente de humedad EXACT-SCALE DH-EX200. Se pesó 2.0 gramos de muestra de pulpa del cerezo de café para

colocar el porta muestras, la temperatura constante de desecación es de 75°C hasta eliminar el agua libre y ligada de la pulpa del cerezo de café arábica, el equipo calcula la humedad final en función al peso inicial y el peso final de la pulpa del cerezo de café; también se puede observar el diagrama del porcentaje de humedad respecto al tiempo transcurrido.

Figura 27

Equipo de analizador inteligente de humedad



4.9.5. Metodología de la determinación de polifenoles totales.

El contenido de polifenoles totales fue determinado con el reactivo de fenol Folin-Ciocalteu, de acuerdo a la investigación descrita por Singleton et al. (1999), esta metodología fue adaptado para la determinación de compuestos fenólicos de la cascara de café por Silva et al. (2020), donde indica que se necesita 0.1 ml del compuesto concentrado, 7.9 ml de agua destilada, 0.5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu y 1.5 ml de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20%. Los matraces se agitaron en una incubadora con agitación durante

1 hora protegida de la luz, se midió la absorbancia 300 a 465nm haciendo uso del espectrofotómetro (GENESYS 20 THERMO ELECTRON UV-Visible) con velocidad de registro de 1600nm/min e 2 nm, utilizando como curva de calibración realizada con ácido gálico desde 0 a 0,2 (mg/mL), interpolando los valores respecto a esta curva, las resultantes se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo (mg AG/g) (Barragán et al., 2023). Según Lima et al. (2022) primero se debe correr un experimento en blanco utilizando una solución de 0.5 ml de etanol con adición de 2.5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu y 2 ml de carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 20%.

Los resultados fueron calculados utilizando la siguiente ecuación

$$FT_{\frac{mgAG}{g}} = \frac{|Abs_{muestra}| - A}{B} \times FD$$

Donde:

$Abs_{muestra}$; absorbancia de la muestra

A; Intercepto

B; Pendiente

FD; factor de dilución

4.9.5.1 Curva de calibración de ácido gálico (AG)

Para determinar la curva de calibración de ácido gálico para muestras se utilizó la metodología según Singleton et al. (1999) adaptado por Barragán et al. (2023), donde se utilizó una solución estándar de ácido gálico (100 µg/ml) adicionando un volumen de 0 y 200 µL, esta solución se completó con solución de Na₂CO₃ (7%), reactivo Folin-Ciocalteu (1N) hasta un volumen de la muestra a 2000 µL. Luego se dejó reposar por un tiempo de 30 minutos para determinar la curva de calibración estándar ácido gálico (AG)

con un espectrofotómetro (GENESIS 20 THERMO ELECTRON) a 765 nm (Huang et al., 2015).

Tabla 6

Curva de calibración de fenoles totales

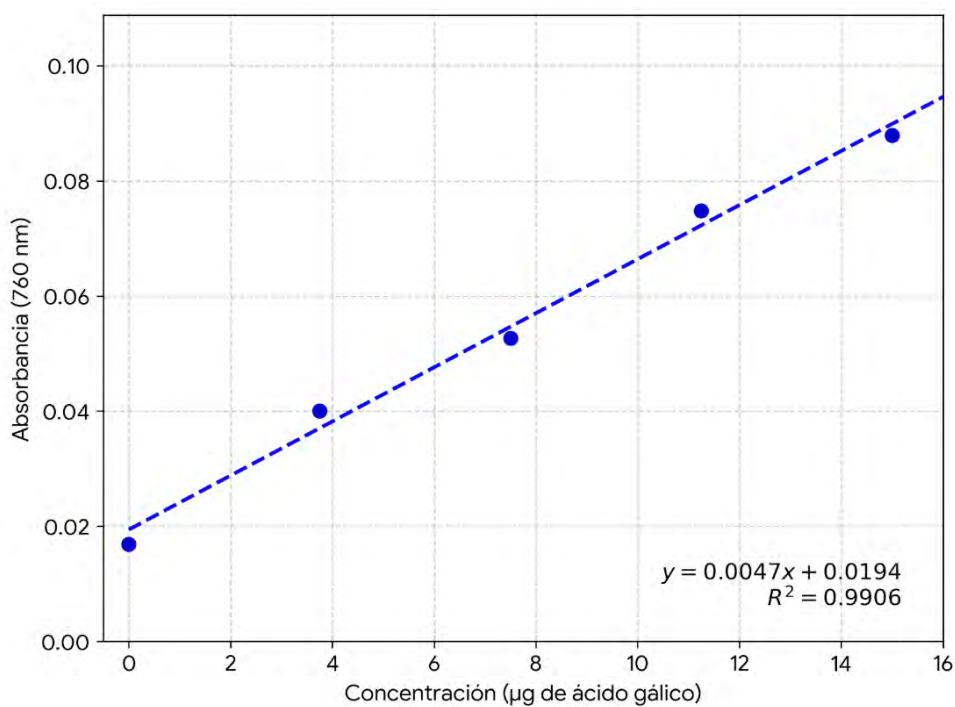
Nº Muestra	Solución de ácido gálico (μL)	Agua destilada (μL)	Reactivo Folin (μL)	Solución Na ₂ CO ₃ (μL)
Blanco	0	1700	200	100
1		1650	200	100
2	100	1600	200	100
3	150	1550	200	100
4	200	1500	200	100

Ecuación de la curva de calibración

$$y = 0.0047X + 0.0194, R^2 = 0.9906$$

Figura 28

Curva de calibración de polifenoles totales



4.9.6. Metodología para determinar la capacidad Antioxidante

El ensayo de eliminación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) se basó en la metodología descrita por Brand-Williams et al. (1995) el cual ensayo es adaptado por Silva et al. (2020) y Barragán et al. (2023) para determinar la actividad antioxidante en la cascara de C. arábica. El radical DPPH es de color púrpura y se vuelve amarillo en presencia de antioxidantes, el cambio resultante se capturo a una longitud de onda de 517 nm mediante espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 180S UV-Visible). Ahora como curva de calibración patrón se utilizó una solución de Trolox de 100 a 800 $\mu\text{mol/L}$ (Brand-Williams et al., 1995; Matuszewska et al., 2018).

Según lo descrito por Lima et al. (2022) Los resultados fueron calculados utilizando la siguiente ecuación

$$\text{DPPH } (\mu\text{M Trolox}) = \frac{|\text{Absorbancia } DPPH| - \text{Absorbancia } extracto}{\text{Absorbancia } DPPH} \times 100$$

Donde:

Absorbancia DPPH ; absorbancia de la muestra a 517nm

A; Intercepto

B; Pendiente

FD; factor de dilución

4.9.6.1 Curva de calibración de Trolox

Se realizo la curva de calibración de trolox preparando una solución de 5000 μM de concentración; se aforo a 2000 μM todas las soluciones para realizar la curva patrón trolox.

Tabla 7

Concentración de Trolox para la curva patrón

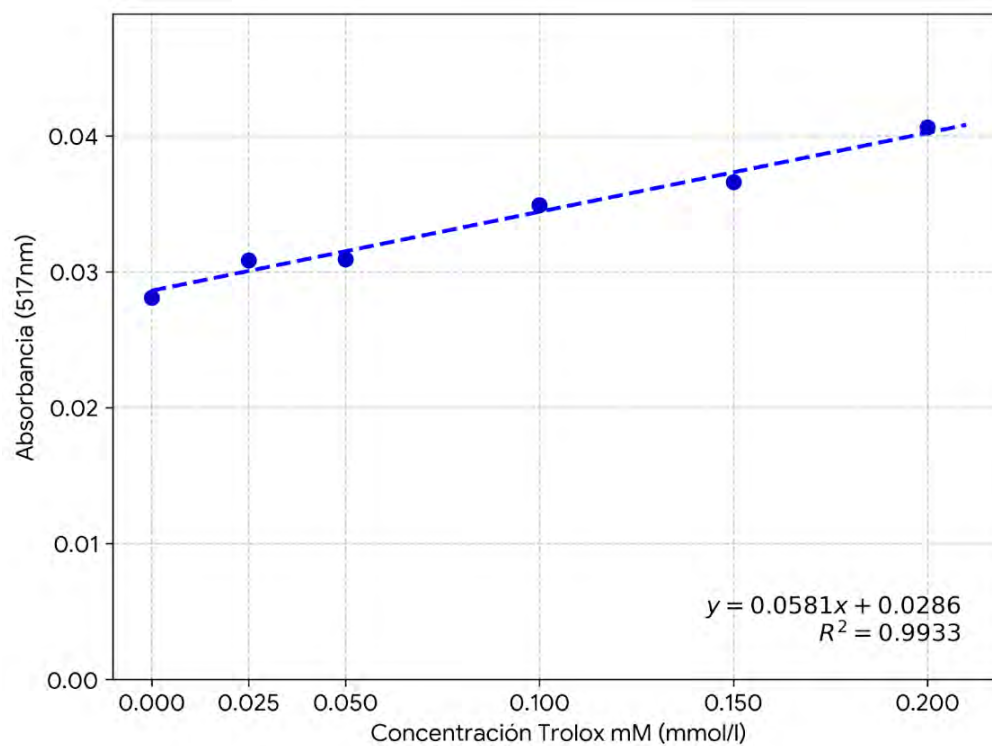
Nº Muestra	Trolox V (µL)	Agua V (µL)	Conc. Trolox µM (µmol/L)
1	0	2000	0
2	10	1990	100
3	80	1920	200
4	160	1840	400
5	200	1800	500
6	240	1760	600

Ecuación de la curva de calibración

$$y = 0.0581X + 0.0286, R^2 = 0.9933$$

Figura 29

Curva de calibración para antioxidantes



4.9.6.2 Determinación de TEAC – DPPH en los extractos

Los diferentes extractos fueron testeados con diferentes concentraciones (número de moles de antioxidante/mol de DPPH). El ensayo de DPPH se realizó añadiendo 0.15 mL de la muestra extraída a 2.85 mL del solvente (metanol), y luego se mantuvo durante 3 horas en una habitación oscura. La absorbancia de los extractos fue verificada con un espectrofotómetro UV-VIS (GENESIS 20 THERMO ELECTRON) a 517 nm.

4.9.7. Metodología para determinar el rendimiento de extracción

Según Cruzalegui et al. (2021) el rendimiento extractivo dependerá de las características químicas del material biológico y en relación al extracto final y el solvente. Para el cálculo del rendimiento extractivo primero se determinará el volumen/masa inicial y el volumen/masa final de la extracción de compuestos bioactivos.

$$\% \text{ Rendimiento de extraccion (\%)} = \frac{m/ml \text{ de extracto}}{m/ml \text{ de solvente}} * 100\%$$

4.10. Técnicas de Análisis y Procesamiento de la Información

4.10.1. Diseño experimental

La investigación se ejecutó bajo un diseño multi-factor categórico; diseño experimental que estimará los efectos de 2 factores categóricos. El diseño factorial estándar, que consiste en todas las combinaciones de los niveles de los factores considerando el método de extracción (Maceración, Ultrasonido, Soxhlet) como factor (A) y variedad (Catimor, Colombia, Geisha, Típica) como factor (B), siguiendo precedentes en pulpa del cerezo de café donde el método extractivo se modela como factor experimental y se contrasta frente a variedad de café mediante ANOVA de dos factores con interacción. Cada tratamiento se replicó tres veces para tener 36 unidades experimentales (Geremu et al., 2016; Liang et al., 2025; Preedalikit et al., 2023)

Análisis del diseño multi-factor categórico

El modelo matemático para el diseño multi-factor sigue la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Polifenoles totales, actividad antioxidante, rendimiento/capacidad de extracción.

μ : Media global

α_i : Efecto de i nivel de la variable del factor A.

β_j : Efecto de j nivel de la variable del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción entre i del valor A y j del valor B.

ε_{ijk} : Error

4.10.2. Matriz experimental

Tabla 8

Distribución de los tratamientos del diseño experimental

Extractos	VARIABLES INDEPENDIENTES		VARIABLES DEPENDIENTES		
	Método de extracción	Variedad de pulpa del cerezo de café	Compuestos bioactivos (Polifenoles)	Capacidad Antioxidante	Rendimiento
			mg AG/g	µg trolox/g	% extracto
E1	Soxhlet	Catimor			
E2	Soxhlet	Colombia			
E3	Soxhlet	Geisha			
E4	Soxhlet	Típica			
E5	Ultrasonido	Catimor			
E6	Ultrasonido	Colombia			
E7	Ultrasonido	Geisha			
E8	Ultrasonido	Típica			
E9	Maceración	Catimor			
E10	Maceración	Colombia			
E11	Maceración	Geisha			
E12	Maceración	Típica			

Nota: Matriz experimental 3 x4 = 12 tratamientos

Matriz de experimentación es de dos factores, donde el método de extracción tiene tres (3) niveles y la variedad de café arábica cuatro niveles, teniendo doce (12) tratamientos y se realizó tres (3) repeticiones por cada tratamiento experimental, por lo tanto, se experimentó con treinta y seis (36) unidades experimentales.

4.10.3. Análisis Estadístico

Para determinar los factores que tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las variables respuesta, los resultados (data) se analizó utilizando un análisis de

varianza (ANOVA) y la comparación múltiple entre medias se analizó por el procedimiento honestamente significativo (HSD) de Tukey, con un nivel de significancia del 95%. El análisis estadístico se realizó utilizando el Software STATGRAPHICS 19.

4.10.4. Hipótesis estadística

Para realizar las pruebas de hipótesis se plantea las siguientes conjeturas:

H_0 : Hipótesis nula

H_A : Hipótesis alterna

Método de extracción (A)

H_0 : Efecto $A=0$; El método de extracción utilizada no influye en obtención de compuestos bioactivos (Polifenoles).

H_A : Efecto $A \neq 0$; El método de extracción utilizada influye en obtención de compuestos bioactivos (Polifenoles).

H_0 : Efecto $A=0$; El método de extracción utilizada no influye en actividad antioxidante del extracto.

H_A : Efecto $A \neq 0$; El método de extracción utilizada influye en actividad antioxidante del extracto.

H_0 : Efecto $A=0$; El método de extracción utilizada no influye en rendimiento de extracción.

H_A : Efecto $A \neq 0$; El método de extracción utilizada influye en rendimiento de extracción.

Variedad de café arábica(B)

H_0 : Efecto $B=0$; La variedad de café arábica utilizada no influye en obtención de compuestos bioactivos (Polifenoles).

H_A : Efecto $B \neq 0$; La variedad de café arábica utilizada influye en obtención de compuestos bioactivos (Polifenoles).

H_0 : Efecto $B=0$; La variedad de café arábica utilizada no influye en actividad antioxidante del extracto.

H_A : Efecto $B \neq 0$; La variedad de café arábica utilizada influye en actividad antioxidante del extracto.

H_0 : Efecto $B=0$; La variedad de café arábica utilizada no influye en rendimiento de extracción.

H_A : Efecto $B \neq 0$; La variedad de café arábica utilizada influye en rendimiento de extracción.

Interacción del método de extracción y la variedad de café (AB)

H_0 : Efecto $AB=0$; El método de extracción utilizada sobre la variedad de café arábica no influye en obtención de compuestos bioactivos (Polifenoles).

H_A : Efecto $AB \neq 0$; El método de extracción utilizada sobre la variedad de café arábica influye en obtención de compuestos bioactivos (Polifenoles).

H_0 : Efecto $AB=0$; El método de extracción utilizada sobre la variedad de café arábica influye en actividad antioxidante del extracto.

H_A : Efecto $AB \neq 0$; El método de extracción utilizada sobre la variedad de café arábica influye en actividad antioxidante del extracto.

H_0 : Efecto $AB=0$; El método de extracción utilizada sobre la variedad de café arábica influye en rendimiento de extracción.

H_A : Efecto $AB \neq 0$; El método de extracción utilizada sobre la variedad de café arábica influye en rendimiento de extracción.

Criterio de decisión a nivel de significación al 5% ($\alpha=0,05$)

Si valor-P $< 0,05$: Se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_A

Si valor-P $> 0,05$: Se acepta la hipótesis nula H_0 y se rechaza la hipótesis alterna H_A

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Georreferenciación del punto de cosecha de la materia prima

La pulpa de cerezo de café arábica se recolectó en la cuenca hidrográfica de Chuyapi en la ceja de selva. Para georreferenciar y localizar la ubicación de los puntos de recolección de las variedades de café arábica utilizó un GPS (Garmin OREGON 750). Los datos obtenidos por el instrumento GPS reportó la altitud, longitud y latitud de los puntos de cosecha de la materia prima de las cuatro variedades son:

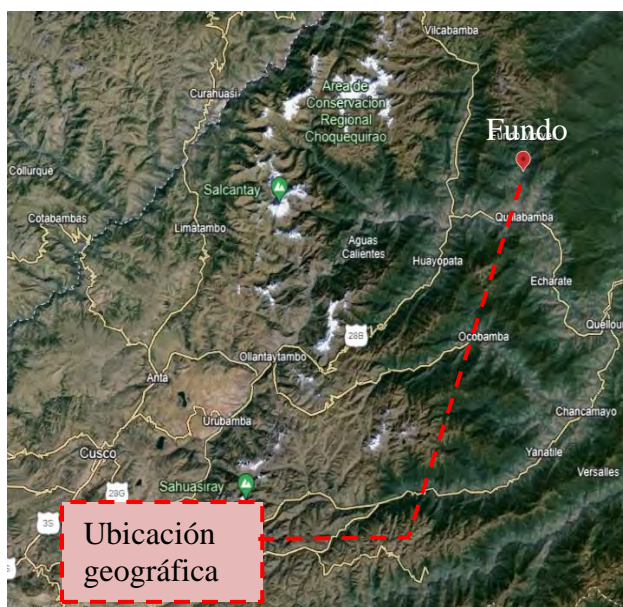
Tabla 9

Puntos altitudinales georreferenciados de cosecha de café arábica

Variedades de Café	Altitud	Longitud	Latitud
Geisha	1660 m.s.n.m	-12.9073	-72.78595
Catimor	1564 m.s.n.m	-12.906025	-72.776772
Típica	1568 m.s.n.m	-12.906025	-72.776658
Colombia	1551 m.s.n.m	-12.905967	-72.776792

Figura 30

Ubicación satelital (Google earth) del punto de recolección de variedades de C. arábica



El reporte de la Tabla 9 muestra diferencia entre los puntos de recolección de la materia prima donde el café arábico variedad Geisha se recolecta a una mayor altitud geográfica, considerado café de altura mayor a 1600 msnm, y las variedades como la Típica, Catimor y Colombia considerados como café de altura media-baja entre 1000 a 1600 msnm según la World Coffe Reseaarch (2026).

La altitud es un factor importante en el desarrollo optimo agro climatológico de las variedades de café arábica clasificando como cafetos de muy buena actitud, donde se desarrolla compuestos químicos diferentes, dándole al café características sensoriales únicas que caracterizan a un café de especialidad, así este producto tiene mayor calidad en taza. (López-Carmona et al., 2021) (Silva Rincón et al., 2024).

5.2. Determinación del índice de color de la pulpa del cerezo de café arábica

El análisis de la pulpa del cerezo de café se realizó utilizando un colorímetro Konica Minolta (CHROMA METER CR-400) para cuantificar el color según la metodología de Rojas Orduña et al. (2023) y Esquivel et al. (2020), con una iluminancia D65 y una observación de 10°. Para calcular la diferencia de color de las muestras de pulpa del cerezo de café arábica se utilizó la ecuación 1, de esta manera cuantificar la diferencia del índice *Lab de las cuatro variedades de café utilizadas en la investigación.

Figura 31





Variación de color de los cerezos de café según variedad



Nota: Tipos de café arábica; Geisha (A), Típica (B), Colombia (C), Catimor (D)

Por lo tanto, se realizó un análisis colorimétrico utilizando la técnica CIE lab, se utilizó los valores reportados de las coordenadas $L^*a^*b^*$ de las cuatro variedades de pulpa del cerezo de café arábico se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10*Coordenadas Lab* por cada Variedad de café*

Coordenadas		L		a		b		Color
Variedad de café		\bar{X}	s	\bar{X}	s	\bar{X}	s	
Catimor		37.53	±1.89	38.85	±6.58	21.58	±5.42	
Geisha		49.56	±2.66	36.92	±11.26	34.77	±5.21	
Colombia		79.99	±3.33	13.40	±5.39	68.49	±3.10	
Típica		33.14	±2.74	30.23	±2.49	13.60	±1.25	

En la investigación las variedades de café arábica se caracterizaron de acuerdo al color de las muestras colectadas para poder cuantificar la variación de color de una variedad de café con otra. Se determinó la diferencia total de color entre las variedades se utilizó la siguiente ecuación 1:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

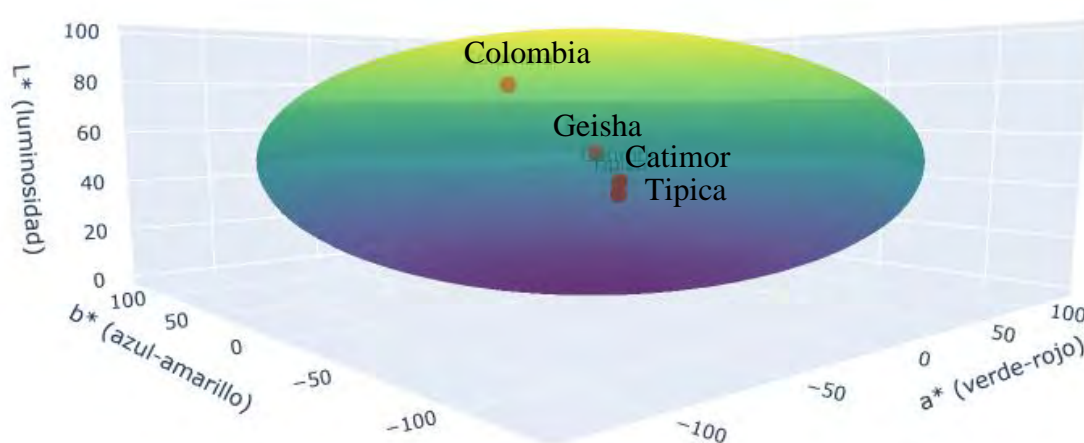
Tabla 11*Determinación de la diferencia de color*

Variedad de café (variedades)		ΔL	Δa	Δb	ΔE
Catimor	Geisha	-12.03	01.93	-13.19	17.95
Catimor	Colombia	-42.46	25.45	-46.91	68.20
Catimor	Típica	04.39	08.62	07.98	12.54
Geisha	Catimor	12.03	-01.93	13.19	17.95
Geisha	Colombia	-30.43	23.52	-33.72	51.15
Geisha	Típica	16.42	06.69	21.17	27.61
Colombia	Catimor	42.46	-25.45	46.91	68.20
Colombia	Geisha	30.43	-23.52	33.72	51.15
Colombia	Típica	46.85	-16.83	54.89	74.10
Típica	Catimor	-04.39	69.08	-07.98	69.68
Típica	Geisha	-16.42	-06.69	-21.17	27.61
Típica	Colombia	-46.85	16.83	-54.89	74.10

Se puede observar que existe diferencia cuantitativa de color entre las variedades de estudio; de esta manera podemos corroborar que los cerezos de café según su variedad son diferentes, siendo la diferencia de color aceptable debido a que los valores obtenidos en delta E están fuera dentro de la caja de tolerancia de ± 1 (Konica Minolta, 2023). La variedad de café Catimor y Típica en su estado óptimo de maduración tienden a ser similares a la vista de cualquier observador, pero las muestras evaluadas muestran una diferencia total de color de 12.54.

Figura 32

*Localización de los puntos cartesianos de las variedades de la pulpa del cerezo de café en el espacio Lab**



Nota: Se observa la localización espacial de las variedades de pulpa de café según su color CIElab.

5.3. Determinación de la humedad

La humedad de la pulpa del cerezo de café arábica se cuantificó utilizando el Analizador de humedad inteligente (EXACT-SCALE DH-EX200) por triplicado, de las cuatro variedades: Típica, Catimor, Colombia, Geisha; los valores resultantes son reportados a continuación.

Tabla 12

Humedad del tejido fresco de las diferentes variedades

Variedad	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Humedad %
Geisha	2,010	0,373	81,53±0.35
Catimor	2,049	0,334	83,70±0.23
Colombia	2,053	0,318	84,48±0.26
Típica	2,026	0,325	83,96±1.49

La humedad del tejido fresco de café arábica de la variedad Colombia fue de 84.48 % seguido de la variedad Típica con 83.96%, luego la variedad Catimor 83.70% y finalmente la variedad Geisha 81.53%. Los resultados arrojan el alto porcentaje de agua libre en el tejido de la pulpa del cerezo de café arábica los que dificulta su conservación en tejido fresco. Según Barragán et al. (2023) la pulpa del cerezo de café debe deshidratarse para conservar los componentes bioactivos hasta llegar a una humedad final menor al 11.05 % de agua libre, así poder mejorar la extracción de compuestos bioactivos y asegurando la conservación de la pulpa del cerezo de café por más tiempo.

El porcentaje de humedad de las cuatro variedades de café tienen en promedio una humedad entre el 83.70 y 84.48%, valores cercanos a lo obtenido por Bonilla et al. (2014) con una humedad promedio de 82.44%, el cual indica que la alta humedad es una característica intrínseca de la pulpa del cerezo de café. Además, los aspectos fisiológicos, geográficos y medio ambientales, influyen la variación de la humedad de la pulpa del cerezo de café atribuyendo a la pulpa del cerezo de café como un producto altamente perecedero, si solo si, no se elimina el agua libre de su estructura biológica (Rocha Baqueta et al., 2017).

5.4. Determinación de Polifenoles Totales

La cuantificación de polifenoles totales se realizó en el laboratorio de Calidad, Cromatografía y Espectrometría de la UNSAAC en la ciudad del Cusco. Para cuantificar los polifenoles totales se aplicó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton et al. (1999) con algunas modificaciones menores para la matriz de pulpa del cerezo de café. En concordancia con el fundamento del ensayo se midió la coloración azul en un espectrofotómetro Genesys 20 (Thermo Electrón) a 765 nm por triplicado, en función a la curva de calibración construida con soluciones estándar de ácido gálico. Los resultados se

expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg AG/g), se determinó los polifenoles totales por triplicado por cada extracto (ver Anexo 3, Tabla 29).

Tabla 13

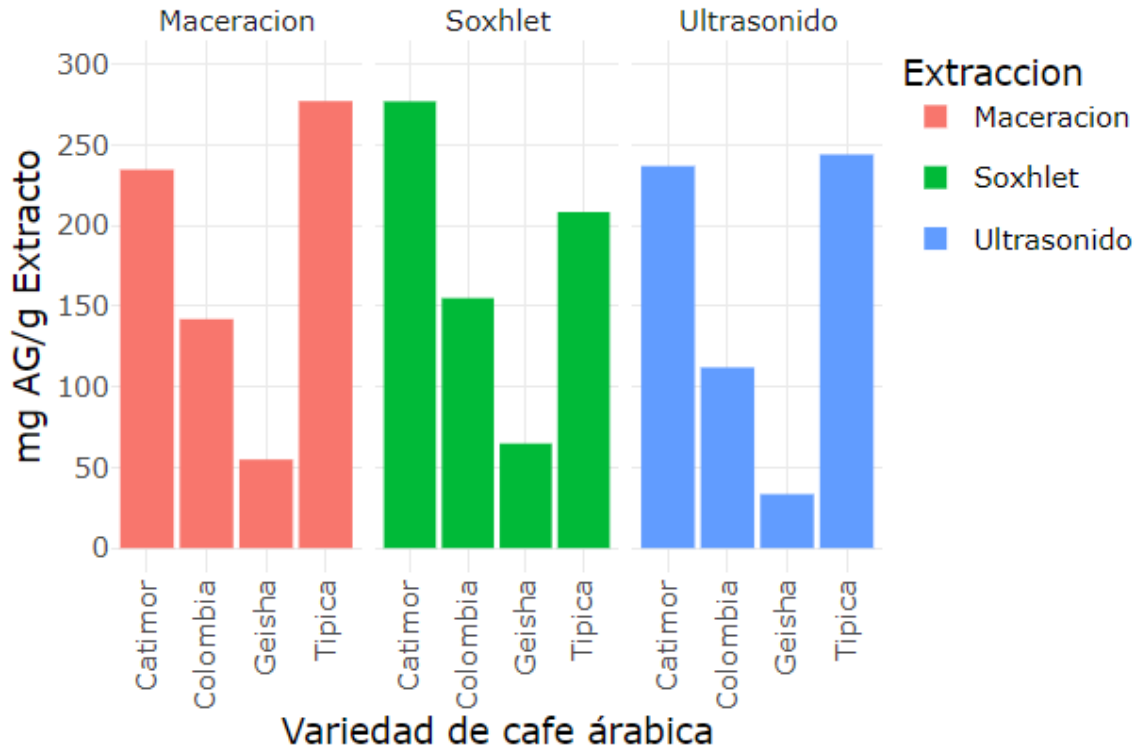
Resultados de componentes polifenólicos por cada tratamiento del extracto de pulpa del cerezo de café

Extractos	Método de extracción	Variedad de pulpa del cerezo de café	Polifenoles totales (mg AG/g)		
			\bar{X}	s	%
E1	Soxhlet	Catimor	277.1	6.72	277.00
E2	Soxhlet	Colombia	155.1	3.36	155.00
E3	Soxhlet	Geisha	64.9	1.99	65.00
E4	Soxhlet	Típica	208.5	7.90	209.00
E5	Ultrasonido	Catimor	237.0	9.32	237.00
E6	Ultrasonido	Colombia	112.1	3.73	112.00
E7	Ultrasonido	Geisha	33.5	1.99	34.00
E8	Ultrasonido	Típica	244.2	0.64	244.00
E9	Maceración	Catimor	234.8	7.26	235.00
E10	Maceración	Colombia	142.1	3.68	142.00
E11	Maceración	Geisha	55.0	4.99	55.00
E12	Maceración	Típica	277.3	16.15	277.00

Nota: \bar{X} , es la media; S, desviación estándar; %, rendimiento/ capacidad de extracción.

Figura 33

Contenido de polifenoles totales por cada tratamiento de extracto de la pulpa del cerezo de café en mgAG/g



En Figura 33 se muestra la diferencia entre los extractos obtenidos respecto al contenido de polifenoles totales en miligramos de ácido gálico por gramo de extracto de cada tratamiento según la variedad de pulpa del cerezo de café y el método de extracción. Observamos máximos contenido polifenólico los extractos E12 y E1 de la variedad Típica; seguidos por E8 y E5 de la variedad Catimor. En un segundo grupo de rendimiento intermedio esta los extractos de la variedad Colombia E10, E2 y E6. Los extractos con mínimos obtenidos son los extractos de la variedad Geisha E7, E3 y E11, que tienen bajo contenido de compuestos bioactivos con respecto al demás tratamiento de la investigación. En síntesis, la pulpa del cerezo de café Catimor y Típica reportan mayor densidad polifenólica independientemente del método, con picos en Soxhlet y Maceración,

respectivamente, la variedad Colombia muestra rendimientos moderados; y Geisha presenta menor recuperación de componentes bioactivos.

Tabla 14

Análisis de Varianza para Polifenoles Totales (SC Tipo III)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS					
PRINCIPALES					
A: Método de extracción	3253.26	2	1626.63	28.32	0.0000
B: Variedad de café	242801.	3	80933.7	1409.10	0.0000
INTERACCIONES					
AB	11712.9	6	1952.15	33.99	0.0000
RESIDUO	1378.47	24	57.4363		
TOTAL (Corregido)	259146.	35			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La Tabla 14 se muestra los resultados del análisis de varianza para polifenoles totales de los extractos de la pulpa cerezo de café; siendo el método de extracción (A) y la variedad de la pulpa del cerezo de café (B). El valor-p para el método de extracción y la variedad de la pulpa de cerezo de café no supera 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre polifenoles con un 95.0% de nivel de confianza, donde ambos factores interactúan generando una variación sobre los compuestos polifenólicos en los extractos; lo que indica que el efecto del método de extracción sobre los componentes bioactivos depende de la variedad de café utilizado. Estos resultados sugieren que la combinación específica de método de extracción y variedad de café es crucial para optimizar la extracción de polifenoles totales. Los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que tres valores-p son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre polifenoles totales con

un 95.0% de nivel de confianza. Entonces, se puede decir que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_A).

En la Tabla 15 y 16 se muestra el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey (95%) para evidenciar si existe diferencias significativas entre las medias los grupos homogéneos del método de extracción y la variedad de café con respecto a los componentes bioactivos (polifenoles) de los extractos.

Tabla 15

Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para polifenoles por método de extracción.

<i>Método de extracción</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
<i>Ultrasonido (2)</i>	12	156.692	2.18777	A
<i>Soxhlet (1)</i>	12	176.392	2.18777	A
<i>Maceración (3)</i>	12	177.293	2.18777	A

<i>Contraste</i>	<i>Diferencia sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Valor p</i>
1 - 2	No	19.702	68.512	107.915	0.848
1 - 3	No	0.898	87.315	89.112	1.000
2 - 3	No	20.600	67.614	108.814	0.835

* indica una diferencia estadísticamente significativa

En la Tabla 15 se observa el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar que medias del método de extracción son significativamente diferentes de otras para los polifenoles totales. La hipótesis nula es que ambos grupos tienen la misma media. El valor p para las comparaciones entre Soxhlet - Ultrasonido, Soxhlet - Maceración, así como Ultrasonido y Maceración supera 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de que no existe una diferencia significativa entre sus medias de Soxhlet, Ultrasonido y Maceración. Además, se ha identificado solo un grupo

homogéneo mediante las columnas de letras que conforman un grupo de medias, dentro del cual no existe diferencias estadísticamente significativas entre aquellos que compartan una misma columna de letras. En contraste, esto confirma estadísticamente que, si analizamos los métodos de forma general (sin separar por variedad de pulpa de cerezo de café), no existe un método superior a los otros. Por lo tanto, la elección del método no debe hacerse de forma general, sino específica para cada variedad de pulpa del cerezo de café arábica.

Tabla 16

Comparación múltiple, Tukey HSD 95% para polifenoles por variedad de café

<i>Variedad de café</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i> (mg/g)	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	
Geisha (3)	9	51.1294	2.52622	A	
Colombia (2)	9	136.406	2.52622	B	
Típica (4)	9	243.34	2.52622	C	
Catimor (1)	9	249.627	2.52622	C	

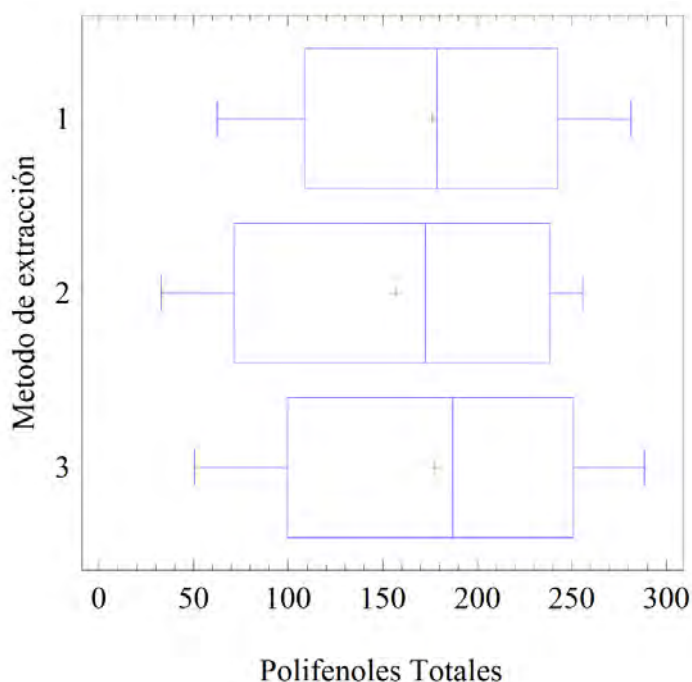
<i>Contraste</i>	<i>Diferencia sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Valor p</i>
1 - 2	Si	113.222	84.3561	142.0883	0.000
1 - 3	Si	198.497	169.6317	227.3639	0.000
1 - 4	No	6.28667	22.5783	35.1539	0.934
2 - 3	Si	85.2761	56.4094	114.1417	0.000
2 - 4	Si	106.934	78.0683	135.8006	0.000
3 - 4	Si	192.211	163.3439	221.0761	0.000

En la Tabla 16 se observa el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar qué medias de la variedad de café difieren significativamente

entre sí para los polifenoles totales. El análisis evidenció 5 pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza. También, se identifican grupos homogéneos mediante columnas de letras. Dentro de cada columna, los niveles que comparten la misma letra forman un grupo de medias entre las cuales no existen diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los pares evaluados. La hipótesis nula es que ambos grupos tienen la misma media. Catimor y Típica no presentaron diferencias estadísticas entre sí ($p > 0.05$), conformando un mismo grupo homogéneo. Ambas mostraron valores significativamente superiores a Colombia y Geisha ($p < 0.05$). Por su parte, Colombia superó significativamente a Geisha ($p < 0.05$), mientras que Típica presentó valores significativamente mayores que Colombia y Geisha. Por lo tanto, las variedades Catimor y Típica maximizan la estabilidad de los polifenoles totales en los extractos, seguido de la variedad Colombia como alternativa con mejor cantidad de polifenoles en comparación con Geisha según las condiciones evaluadas. El valor p para las comparaciones entre los 5 pares con asterisco no supera 0.05, por lo que rechazamos la hipótesis nula de que tengan las mismas medias. El valor p de la comparación entre Catimor y Típica supera 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de que no existe una diferencia significativa entre sus medias.

Figura 34

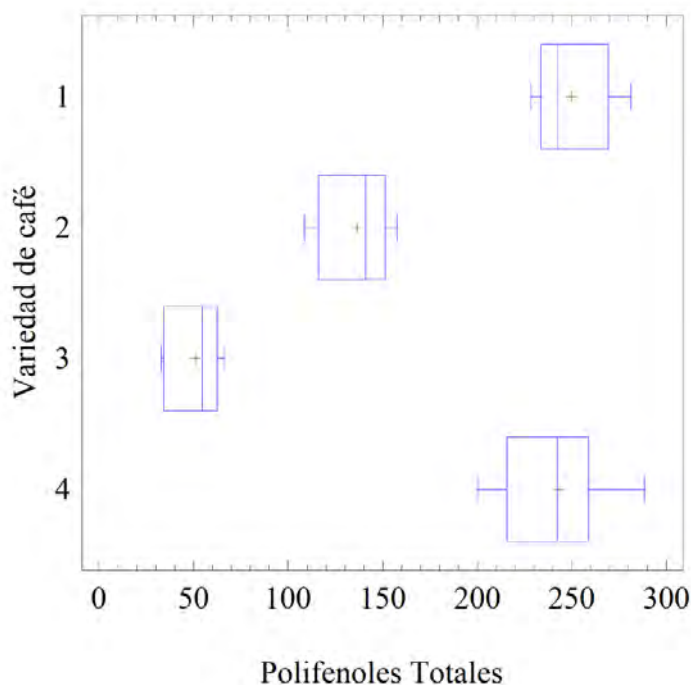
Polifenoles totales del extracto de café arábica según el Método de extracción



En la Figura 34 se muestra la distribución de polifenoles totales (mgAG/g de extracto) en el gráfico de cajas y bigotes respecto a cada Método de extracción, se puede observar que la extracción por Maceración tiene mayor contenido de polifenoles que en el extracto que Soxhlet y Ultrasonido, esto se debe a que se debe a los parámetros de temperatura y tiempo utilizados por este Método de extracción utilizados. La extracción por Maceración con agitación presentó el mayor contenido de componentes bioactivos, con una Mediana de 187.22 mgAG/g, con un cuartil inferior de 99.665 y un cuartil superior de 250.708 y un rango intercuartílico de 151.043; el contenido de polifenoles extraídos por Soxhlet y Maceración obtuvieron una media de 178.833 mgAG/g y 172.465 mgAG/g respectivamente.

Figura 35

Polifenoles totales del extracto según el tipo o variedad de café



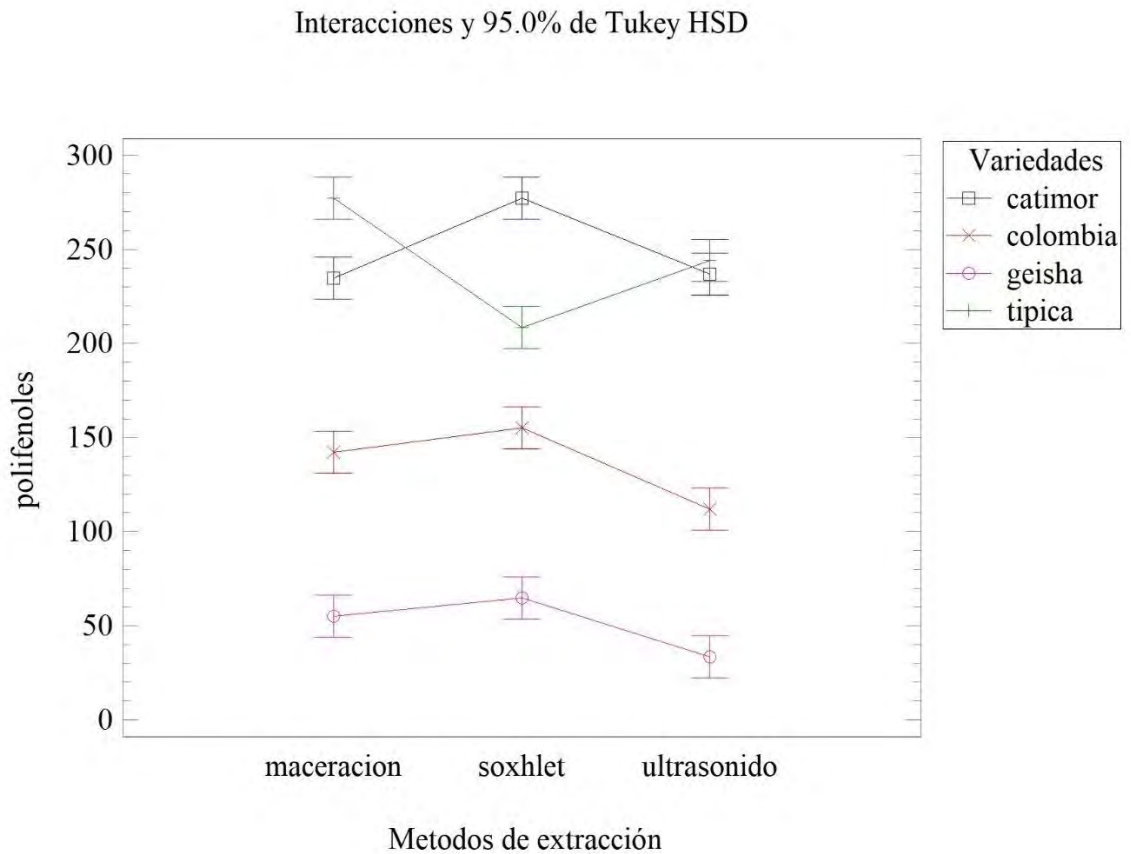
En la Figura 35 se muestra la distribución de polifenoles totales (mgAG/g de extracto) en el gráfico de cajas y bigotes respecto a cada tipo o variedad de café, se puede observar que la variedad Catimor tiene mayor contenido de polifenoles en el extracto que los cafés Típica, Colombia y Geisha, esto se puede sustentar que se debe a los parámetros de temperatura y tiempo utilizados por este Método de extracción. La extracción por Maceración con agitación presentó el mayor rendimiento, con una Mediana de 187.22 mgAG/g, con un cuartil inferior de 99.665 y un cuartil superior de 250.708 y un rango intercuartílico de 151.043; el contenido de polifenoles extraídos por Soxhlet y Maceración obtuvieron una media de 178.833 y 172.465 respectivamente.

El extracto obtenido por el proceso de extracción por Maceración obtuvo mayor contenido de polifenoles (277.3 mgAG/g) y seguido de la extracción por Soxhlet (277.1

mgAG/g) como se muestra en la tabla 15, además observar la variación de los polifenoles totales extraídos por cada tratamiento es diferente; las variedades Típica y Catimor tienen mayor contenido de componentes bioactivos 277.3 mgAG/g y 277.1 mgAG/g respectivamente; esto se debe a la coloración rojo que tienen en común ambas variedades (Barragán et al., 2023).

Figura 36

Interacción entre la variedad de la pulpa del cerezo de café y el proceso de extracción de polifenoles totales



En la Figura 36 se presenta la interacción entre la variedad de café y el método de extracción (Maceración, Soxhlet y Ultrasonido) sobre el contenido de polifenoles totales expresado en mg equivalentes de ácido gálico (AG) por 100 g de muestra seca. Se observa interacción entre las variedades Catimor y Típica con la extracción por Ultrasonido con

una media de 240 mgAG/g. Esto evidencia que la extracción por Ultrasonido es el método que no degrada los componentes bioactivos de la pulpa del cerezo de café arábica.

La variedad Catimor alcanzó su mayor concentración de polifenoles con el método Soxhlet (277.1 mgAG/g), seguido por valores similares en Ultrasonido (237.0 mg AG/100 g) y Maceración (234.8 mg mgAG/g), evidenciando un comportamiento estable ante los distintos métodos, aunque con ligera superioridad en Soxhlet. En contraste, Típica mostró su mayor concentración con Maceración (277.3 mg AG/100 g), seguida de Ultrasonido (241.2 mg mgAG/g) y con una reducción marcada al emplear Soxhlet (208.5mg mgAG/g).

Segun Silva et al. (2020) sobre la extracción de compuestos bioactivos de pulpa del cerezo de café deshidratada utilizando dos procesos; extracción convencional con agua y extracción no convencional con asistido por Ultrasonido utilizando tres tipos de sistemas de extracción o solventes, agua (100%), etanol (100%) y agua-etanol (1:1). El mayor contenido de componentes polifenólicos se encontró un valor entre 31.35 mg AG/g, y 97.89 mg AG/g, de pulpa de cerezos de café utilizando diferentes solventes y técnicas de extracción. La mejor combinación se extrajo por Maceración con agua-etanol (1:1) en pulpa del cerezo de café deshidratado.

Los resultados confirman efectos principales del método de extracción y de la variedad, así como interacción método de extracción y variedad de café ($\alpha=0.05$). A nivel metodológico, Ultrasonido mostró polifenoles totales superiores a Soxhlet y diferencias frente a Maceración, lo que es coherente con la intensificación por cavitación que mejora la transferencia de masa y reduce la degradación térmica prolongada típica de Soxhlet; cuando el medio es hidroalcohólico y la potencia/tiempo son óptimos, Ultrasonido tiende a maximizar la recuperación de ácidos clorogénicos y flavan-3-oles (Silva et al., 2020; Tran

et al., 2022). En sistemas estrictamente acuosos y regímenes hidrotérmicos severos, la decocción puede igualar o superar al ultrasonido suave, subrayando el rol crítico del solvente, la temperatura y el tiempo (Delgado et al., 2019; Neves et al., 2019).

En cuanto a la variedad, Catimor y Típica constituyeron el estrato de mayores polifenoles totales, superando a Colombia y Geisha; Colombia, a su vez, superó a Geisha. Este patrón concuerda con evidencia previa que sitúa a Catimor con Polifenoles totales significativamente mayores que Típica en matrices frescas o conservadas, y muestra que el método de conservación (congelado, estufa, liofilización) y el solvente modulan la estabilidad y extracción de los polifenoles (Barragán et al., 2023; Cruzalegui et al., 2021). El trasfondo químico predominio de ácidos cafeoilquínicos (5-CQA y di-CQA), (epi) catequina y derivados explica la sensibilidad a condiciones térmicas y oxidativas; además, el color del fruto (rojo, amarillo y naranja) se asocia a diferencias en pigmentos (antocianinas y carotenoides) que influyen en la respuesta extractiva (Esquivel et al., 2020; Rojas Orduña et al., 2023).

5.5. Determinación de Actividad Antioxidante

La cuantificación de polifenoles totales se realizó en el laboratorio de Calidad, Cromatografía y Espectrometría de la UNSAAC en la ciudad del Cusco. La capacidad de captura de radicales libres se determinó por el ensayo DPPH, según descrito por Brand-Williams et al. (1995) con algunas modificaciones para la matriz de pulpa del cerezo de café y considerando aplicación en la misma materia prima según (Silva et al., 2020) con algunas modificaciones. Las lecturas se efectuaron en un espectrofotómetro Genesys 20 (Thermo Electron), registrando la absorbancia a 515 nm tras el tiempo de equilibrio de la reacción. Cada muestra se analizó por triplicado y un control descrito por la curva patrón del radical Trolox. Los resultados obtenidos en la determinación de actividad antioxidante expresan el Coeficiente de Inhibición al 50% (CI50 o IC50) en $\mu\text{g/g}$, μmoles equivalentes Trolox que están presente en un gramo de muestra, los valores bajos poseen mayor actividad antioxidante (Zhang et al., 2018); también se incluye el porcentaje de actividad antioxidante en el extracto obtenido se determinó los polifenoles totales por triplicado por cada extracto (ver Anexo 3, Tabla 34).

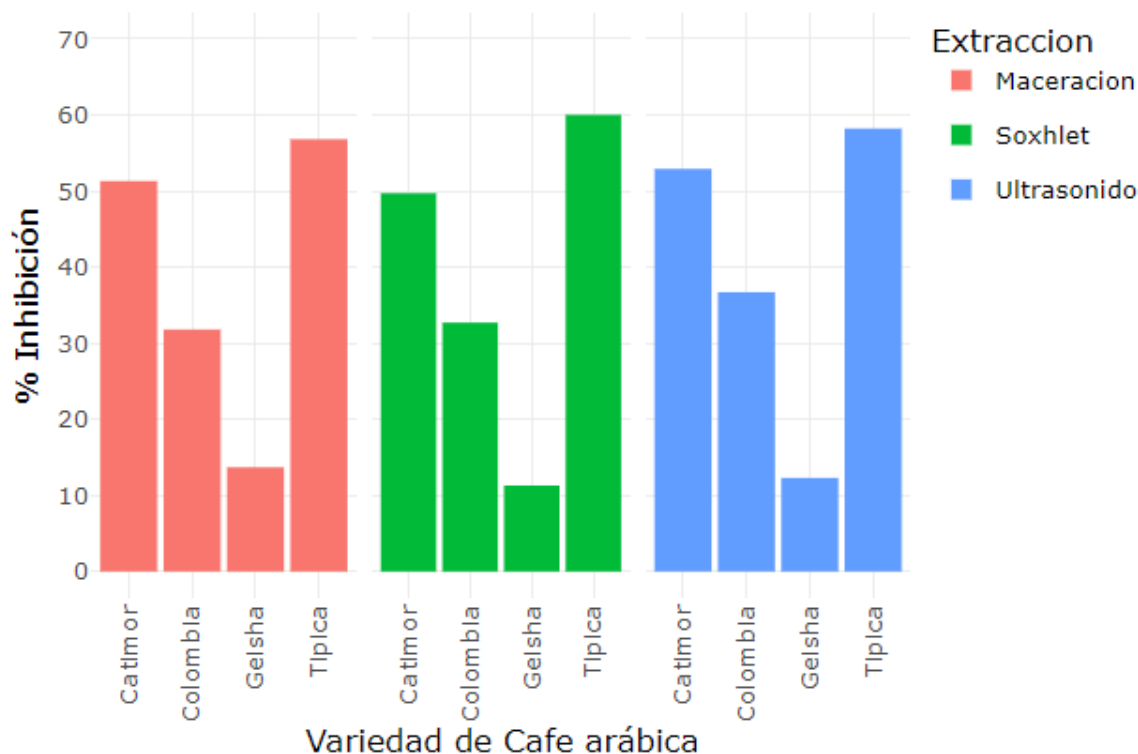
Tabla 17*Resultados de actividad antioxidantes por cada tratamiento del extracto de pulpa del cerezo de café*

Extractos	Método de extracción	Variedad de café	Actividad antioxidante		
			\bar{X}	s	% Inhb
E1	Soxhlet	Catimor	63.1	0.91	49.7
E2	Soxhlet	Colombia	97.5	2.55	32.7
E3	Soxhlet	Geisha	277.9	3.81	11.3
E4	Soxhlet	Típica	53.0	0.82	60.0
E5	Ultrasonido	Catimor	59.8	1.34	52.9
E6	Ultrasonido	Colombia	86.8	1.23	36.7
E7	Ultrasonido	Geisha	259.9	4.44	12.3
E8	Ultrasonido	Típica	54.8	0.30	58.2
E9	Maceración	Catimor	61.8	0.74	51.3
E10	Maceración	Colombia	99.9	2.36	31.8
E11	Maceración	Geisha	230.9	6.85	13.7
E12	Maceración	Típica	56.0	1.34	56.8

Nota: \bar{X} , es la media en $\mu\text{g/g}$; S, desviación estándar; % de inhibición.

Figura 37

Comparación del porcentaje actividad antioxidante por cada tratamiento del extracto de pulpa del cerezo de café arabice.

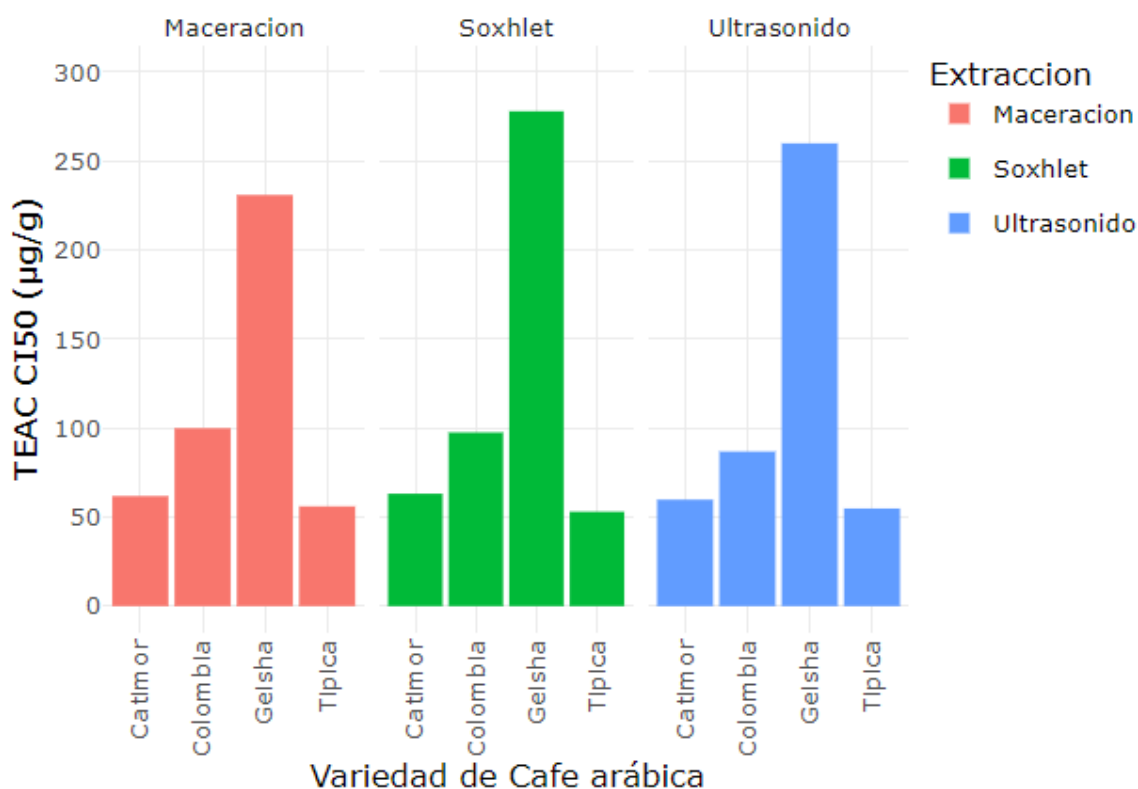


En la Figura 37 se puede observar el porcentaje de actividad antioxidante de los extractos entre la variedad de café y el método de extracción. Se observan valores máximos mayor a un 50% de inhibición de radicales libres en los extractos E12, E4 y E8 obtenidos de la pulpa del cerezo de café de la variedad típica, seguido de los extractos E9 y E5 de la variedad Catimor. En contraste, los extractos de la variedad Colombia E6, E2 y E10, mientras que la variedad Geisha E11, E7, y E3 muestra menor actividad antioxidante. En síntesis, la variedad típica tiene mayor capacidad antioxidante con los diferentes métodos de extracción. En la pulpa del cerezo de café de la variedad Catimor, aunque la extracción por Soxhlet maximizo los polifenoles totales, la actividad antioxidante fue ligeramente mayor con Ultrasonido. La mejora relativa de Colombia con Ultrasonido indica beneficios

de la cavitación para liberar fracciones más reactivas, mientras que la baja respuesta de Geisha en todos los métodos refleja una matriz intrínsecamente pobre en antioxidantes o más susceptible a degradación.

Figura 38

Comparación de la actividad antioxidante TEAC-DPPH por cada tratamiento del extracto de pulpa del cerezo de café arábica



En la Figura 38 se puede observar los valores CI50-TEAC obtenidos por ensayo DPPH de los extractos de la pulpa del cerezo de café arábica respecto al método de extracción y a la variedad de pulpa del cerezo de café. Dado que el CI50 expresa la masa de extracto requerida para inhibir el 50 % del radical (μg equivalente Trolox/g), valores menores indican mayor actividad antioxidante, es decir, se requirió menor cantidad de extracto para lograr una inhibición mayor al 50%. En este sentido, las variedades Típica y

Catimor mostraron una mejor respuesta con IC50 en un intervalo de 53.0-63.1 µg/g. En contraste la variedad Colombia presentó actividad intermedia (86.8-99.9 µg/g), mientras que Geisha exhibió la menor capacidad antioxidante con CI50 elevados (230.9-277.9 µg/g), independientemente del método de extracción de componentes bioactivos.

Tabla 18

Análisis de Varianza para Actividad antioxidante (SC Tipo III)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Método de extracción	736.109	2	368.054	43.85	0.0000
B: Variedad de café	241633.	3	80544.5	9596.24	0.0000
INTERACCIONES					
AB	2967.6	6	494.6	58.93	0.0000
RESIDUOS	201.44	24	8.39333		
TOTAL	245539.	35			
(CORREGIDO)					

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

En la Tabla 18 se muestra los resultados del análisis de varianza para la actividad antioxidante de los extractos de la pulpa del cerezo de café; siendo el el método de extracción (A) y la variedad de la pulpa del cerezo de café (B). El valor p para el método de extracción y la variedad de la pulpa de cerezo de café no supera 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la actividad antioxidante con un 95.0% de nivel de confianza, donde ambos factores interactúan generando una variación en la actividad antioxidante de los extractos. Estos resultados sugieren que la interacción específica del método de extracción y variedad de café es importante para mejorar la

actividad antioxidante de los extractos. Los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que tres valores-p son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la actividad antioxidante de los extractos con un 95.0% de nivel de confianza. Entonces, se puede decir que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_A).

En la Tabla 19 y 20 se muestra el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey (95%) para evidenciar diferencias significativas entre las medias los grupos homogéneos del método de extracción y la variedad de café con respecto a la actividad antioxidante de los extractos.

Tabla 19

Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para antioxidantes por método de extracción

<i>Método de extracción</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
<i>Maceración (3)</i>	<i>12</i>	<i>112.133</i>	<i>0.836328</i>	<i>A</i>
<i>Ultrasonido (2)</i>	<i>12</i>	<i>115.333</i>	<i>0.836328</i>	<i>A</i>
<i>Soxhlet (1)</i>	<i>12</i>	<i>122.917</i>	<i>0.836328</i>	<i>A</i>

<i>Contraste</i>	<i>Diferencia Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Valor p</i>
<i>1 – 2</i>	No	7.55958	78.7252	93.8435	0.9749
<i>1 – 3</i>	No	10.7638	75.5185	97.0502	0.9497
<i>2 – 3</i>	No	3.20417	83.0777	89.4910	0.9954

* indica una diferencia estadísticamente significativa.

En la Tabla 19 se observa el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar qué medias del método de extracción difieren significativamente entre sí para la actividad antioxidante. Dado que Cl50 expresa la masa de extracto requerida para inhibir el 50 % del radical ($\mu\text{g/g}$), valores menores indican mayor actividad

antioxidante, es decir, se requirió menor cantidad de extracto para lograr una inhibición mayor al 50%. La hipótesis nula es que ambos grupos tienen la misma media. El valor p para las comparaciones entre Soxhlet-Ultrasonido, Soxhlet-Maceración, así como Ultrasonido y Maceración supera 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de que no existe una diferencia significativa entre sus medias de Soxhlet, Ultrasonido y Maceración. Además, se ha identificado solo un grupo homogéneo mediante las columnas de letras que conforman un grupo de medias, dentro del cual no existe diferencias estadísticamente significativas entre aquellos que compartan una misma columna de letras. Por lo tanto, el análisis estadístico indica que, si analizamos los métodos de forma general (sin separar por variedad de pulpa de cerezo de café), no existe un método superior a los otros. Por lo tanto, la elección del método no debe hacerse de forma general, sino específica para cada variedad de pulpa del cerezo de café arábica.

El método Soxhlet presentó una media de CI50 (122,92 $\mu\text{g/g}$), lo cual indica la menor actividad antioxidante, mientras que el método de Maceración obtuvo la media más baja (112,13 $\mu\text{g/g}$), lo que corresponde a la mayor actividad antioxidante.

Tabla 20

Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para antioxidantes por variedad de café

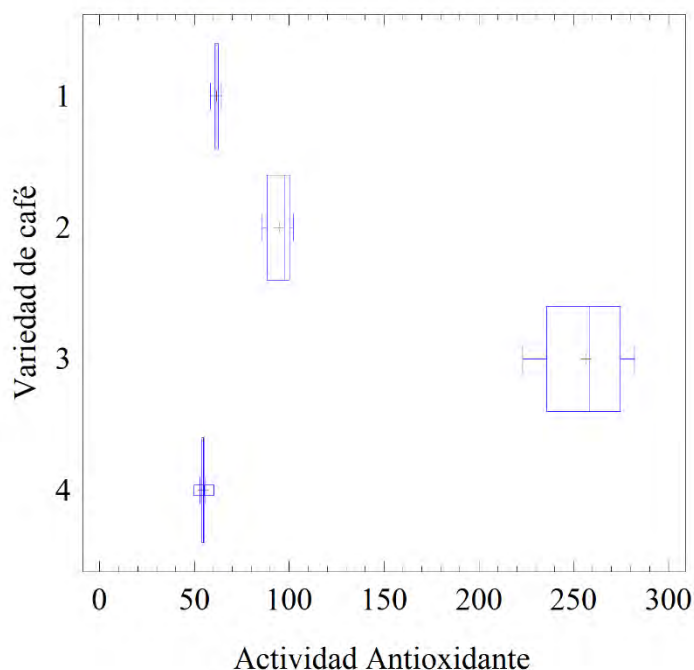
<i>Variedad de café</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Típica (4)	9	54.6111	0.965708	A
Catimor (1)	9	61.5778	0.965708	B
Colombia (2)	9	94.7444	0.965708	C
Geisha (3)	9	256.244	0.965708	D

<i>Contraste</i>	<i>Diferencia sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Valor p</i>
1 – 2	Si	33.1661	19.0589	47.2656	0.0000
1 – 3	Si	194.684	180.5766	208.7834	0.0000
1 – 4	No	6.95111	7.1489	21.0578	0.5475
2 – 3	Si	161.518	147.4144	175.6211	0.0000
2 – 4	Si	40.1172	26.0133	54.2200	0.0000
3 – 4	Si	201.635	187.5311	215.7378	0.0000

En la Tabla 20 se observa el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar qué medias de la variedad de café difieren significativamente entre sí para la actividad antioxidante. Dado que Cl50 expresa la masa de extracto requerida para inhibir el 50 % del radical ($\mu\text{g/g}$), valores menores indican mayor actividad antioxidante, es decir, se requirió menor cantidad de extracto para lograr una inhibición mayor al 50%. La hipótesis nula es que ambos grupos tengan la misma media. El valor p en 5 grupos para las comparaciones entre las variedades de pulpa del cerezo de café no supera 0.05, por lo que se acepta la hipótesis alterna y rechaza la hipótesis nula de que existe una diferencia significativa entre sus medias; solo en un grupo (catimor y típica) no existe diferencia significativa. La variedad Típica, presentó valores significativamente mayores a Catimor, Colombia y Geisha; de igual manera, Catimor supero a Colombia y Geisha; Colombia mayor a Geisha ($p<0.05$). Por lo tanto, la variedad Típica maximiza la actividad antioxidante del extracto, seguido de Catimor y Colombia, por último, con baja actividad antioxidante la variedad Geisha bajo las condiciones evaluadas en esta investigación.

Figura 39

Actividad Antioxidante del extracto según el tipo o variedad de café



En la Figura 39 se muestra la distribución de la actividad antioxidante de los extractos de pulpa del cerezo de café arábica en un gráfico de cajas y bigotes expresado en $\mu\text{g/g}$ según las variedades de Café Arábica, se puede observar que existe diferencia significativa entre la variedad de café utilizados en esta investigación. La variedad Típica tiene mayor capacidad antioxidante con una media de $54.8 \mu\text{g/g} \pm 1.5$, seguido de la variedad Catimor con una media de $61.4 \mu\text{g/g} \pm 1.69$, las variedades con menor actividad antioxidantes fueron Colombia, $97.3 \mu\text{g/g} \pm 6.69$ y Geisha $258.4 \mu\text{g/g} \pm 21$; por lo tanto, un menor valor implica una menor actividad antioxidante. La variedad Geisha tiene mayor dispersión de resultados existiendo mayor variabilidad de la actividad antioxidante por los tres procesos de extracción. Estos resultados son consistentes con la prueba de Tukey HSD, que indicó diferencias significativas entre los tres métodos ($p < 0.05$).

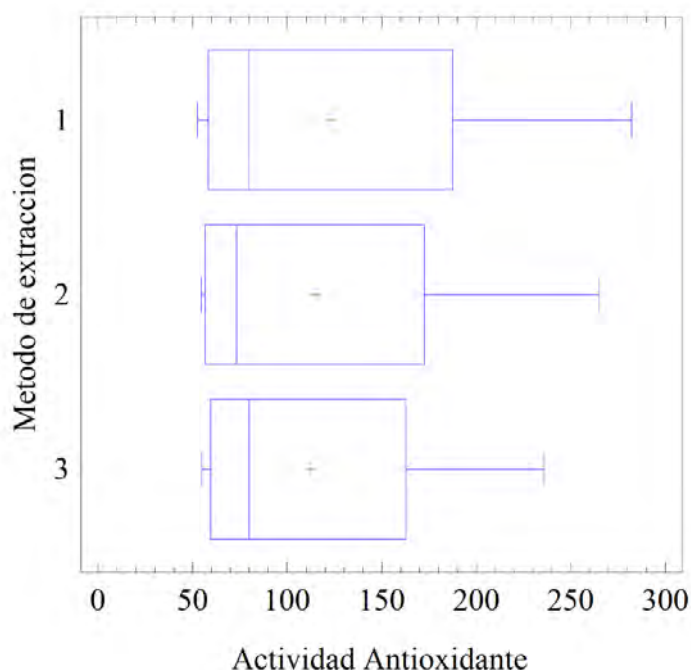
La capacidad antioxidante del extracto de la pulpa del cerezo de café arábica se debe a los componentes bioactivos de la pulpa del cerezo de café arábica de mayor presencia son los ácidos fenólicos y flavonoides, los ácidos fenólicos encontrados en la pulpa del cerezo de café arábica son el ácido clorogénico y el ácido cafeico; los componentes presentes en menor composición son el ácido vinílico, extraído por Ultrasonido y el ácido tánico extraído por Soxhlet (Andrade et al., 2012).

por Andrade et al. (2012), realizaron la extracción de compuestos bioactivos por Soxhlet y Asistido por Ultrasonido, donde se utilizó etanol como solvente de extracción, donde se reportó que la extracción con Soxhlet y solvente el etanol se obtuvo el mejor resultado, con un porcentaje de inhibición (%AA) del 90.3% y 91.5% extracción asistida por Ultrasonido, el cual es mayor a la actividad antioxidante de 60.0% obtenido por extracción Soxhlet de la variedad Típica, esta diferencia se puede dar debido a la variedad de café con el que trabajo la investigación, así como las características edafológicas de la materia prima, así como los parámetros de extracción utilizados siendo también valores superiores a los cuantificados por Barragán et al. (2023) teniendo un valor de 32.46 μmol trolox/g y a Cruzalegui et al. (2021) con un porcentaje de inhibición máximo de 91% de capacidad antioxidante.

La actividad antioxidante es directamente proporcional a la cuantificación de polifenoles totales obtenidos, es decir, al tener mayor cantidad de componentes bioactivos el extracto tendrá mayor actividad antioxidante (Cruzalegui et al., 2021).

Figura 40

Actividad Antioxidante del extracto según el Método de extracción

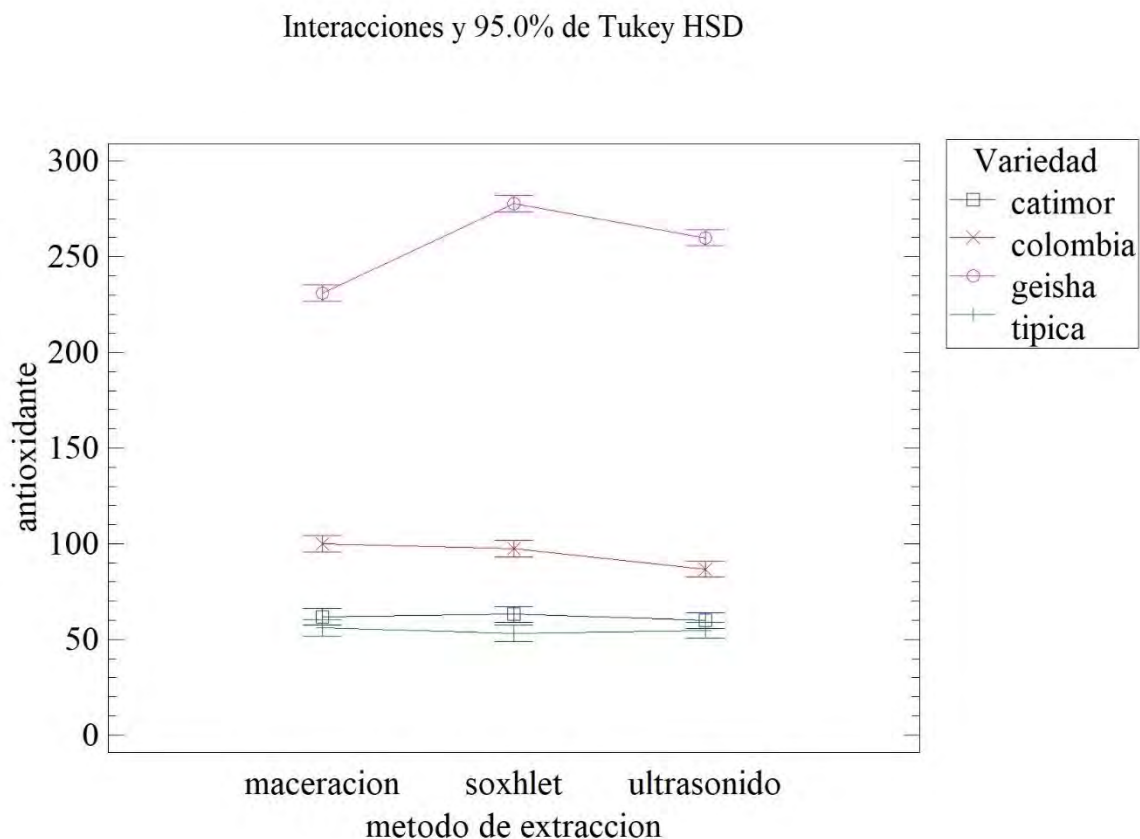


En la Figura 40 se observa la distribución de la actividad antioxidante respecto al Método de extracción en un gráfico de cajas y bigotes expresado en TEAC IC₅₀ µg/g DW, tal valor de IC₅₀ representa la concentración necesaria para inhibir el 50 % de los radicales libres, valores menores indican mayor capacidad antioxidante.

Se puede observar que no existe alta variabilidad de las medias entre grupos de los tres métodos o procesos de extracción (Maceración, 80.00, Soxhlet 79.65 y Ultrasonido 73.30µg/g), por lo que no existe diferencia significativa entre los procesos extractivos de componentes bioactivos. Sin embargo, los rangos intercuartílicos y la amplitud total de los datos revelan una considerable variabilidad intragrupo con valores mínimos de 56.60 µg/g (cuartil inferior) y valores máximos de 187.4 µg/g (cuartil superior) en Ultrasonido y Soxhlet

Figura 41

Interacción del método de extracción y variedad de pulpa del cerezo de café en la actividad antioxidante



En la Figura 41 se presenta el grafico de interacción entre la variedad de café y el Método de extracción (Maceración, Soxhlet y Ultrasonido) sobre el contenido la actividad antioxidante ($\mu\text{g/g}$). Se observa que no existe interacción entre las variedades entre los factores del estudio. Además, se puede observar que la variedad Catimor y Típica presentan valores cercanos para los tres métodos de extracción, siendo las variedades con mayor actividad antioxidante, mostrando estabilidad de los componentes bioactivos por Soxhlet, Maceración y Ultrasonido.

Los resultados evidencian efectos principales del método de extracción y de la variedad, además de una interacción significativa método y variedad ($\alpha = 0,05$), sobre la

actividad antioxidante de los extractos de pulpa del cerezo de café. En términos de IC50 TEAC ($\mu\text{g/g}$), donde valores menores implican mayor actividad antioxidante, Típica y Catimor presentaron el mejor desempeño, Colombia un nivel intermedio y Geisha la menor capacidad antioxidante. Este patrón es congruente con la mayor dotación fenólica descrita para genotipos afines a Catimor y con la modulación por solvente y conservación que condiciona la respuesta antioxidante de los extractos (Barragán et al., 2023; Cruzalegui et al., 2021; Esquivel et al., 2020).

Respecto al método, las comparaciones múltiples (Tukey, 5 %) indicaron que la exposición térmica prolongada de Soxhlet penaliza la actividad antioxidante relativa frente a esquemas de difusión moderada o intensificación mecánica, de modo que maceración y ultrasonido resultaron superiores en términos de IC50. Estos hallazgos concuerdan con reportes donde baño maría o infusión en medios hidroalcohólicos maximizan la inhibición de DPPH frente a ultrasonido suave, y con evidencia de que el régimen hidrotérmico y la composición del medio extractivo determinan la eficacia antioxidante (Delgado et al., 2019; Neves et al., 2019; Silva et al., 2020). Asimismo, la intensificación dieléctrica por microondas puede superar al ultrasonido en equivalentes de Trolox por DPPH, reforzando la sensibilidad de los ácidos clorogénicos y la cafeína a las condiciones de proceso (Tran et al., 2022).

La interacción método y variedad sugiere que la ventaja relativa del proceso depende del genotipo y del acondicionamiento de la matriz. En matrices liofilizadas y con relaciones sólido: líquido elevadas, el ultrasonido ha mostrado aumentar la actividad antioxidante frente a condiciones menos optimas, mientras que incrementos de la fracción orgánica en mezclas hidroalcohólicas optimizan simultáneamente la extracción y la

estabilidad de compuestos fenólicos (Rojas Orduña et al., 2023; Silva et al., 2020). La base química que sustenta estas tendencias reside en la predominancia de ácidos cafeoilquínicos (5-CQA y di-CQA), (epi)catequina y pigmentos fenólicos, con abundancias que varían por color del fruto y variedad, y cuya integridad es sensible a gradientes térmicos y oxidativos (Barragán et al., 2023; Esquivel et al., 2020).

Los resultados obtenidos son consistentes con los estudios realizados por Neves et al. (2019) donde que del proceso de extracción por Maceración con agitación de pulpa del cerezo de café arábica de color amarillo obtuvieron una actividad antioxidante de 34.88 y 44.55 % inhibición, de tal manera que corrobora la actividad antioxidante de la pulpa del cerezo de café arábica de la variedad Colombia utilizado aprovechando este subproducto del benéfico del café.

El método de extracción es un factor importancia para la extracción de componentes bioactivos, valorizando la pulpa del cerezo de café arábica, corroborando las investigaciones realizadas en extracción asistida por Ultrasonido como proceso de extracción no convencional (Tran et al., 2022) que no desnaturaliza algunos componentes bioactivos como los alcanzado hasta un 58% de inhibición empleando temperatura de 60°C por un tiempo de 35 min, optimizando recursos para extraer compuestos bioactivos utilizando etanol como solvente. Así mismo la investigación realizada por (Andrade et al., 2012) indica obtener un porcentaje de actividad antioxidante evaluado por DPPH del 90.3% al extraer por Soxhlet y un porcentaje de inhibición del 28.9% por FRAP, afirmando que el proceso de extracción es efectivo en rendimiento de extracción, pero al trabajar con temperatura de ebullición del etanol los componentes bioactivos termosensibles se destruyen lo que hace que la actividad antioxidante disminuya.

5.6. Determinación del rendimiento de extracción

La determinación del rendimiento de extracción se realizó en el laboratorio de Microbiología de la UNIQ en la ciudad de Quillabamba. El rendimiento de extracción se realizó según la ecuación planteada por Cruzalegui et al. (2021) para la obtención de extractos de pulpa del cerezo de café, con algunas modificaciones. El rendimiento se calculó como el cociente entre la masa del extracto seco y libre de solvente (biocomponentes recuperados) y la masa del extracto inicial obtenido en cada tratamiento, multiplicado por 100, por triplicado. Los resultados se expresaron como porcentaje de recuperación de biocomponentes con potencial actividad antioxidante.

Tabla 21

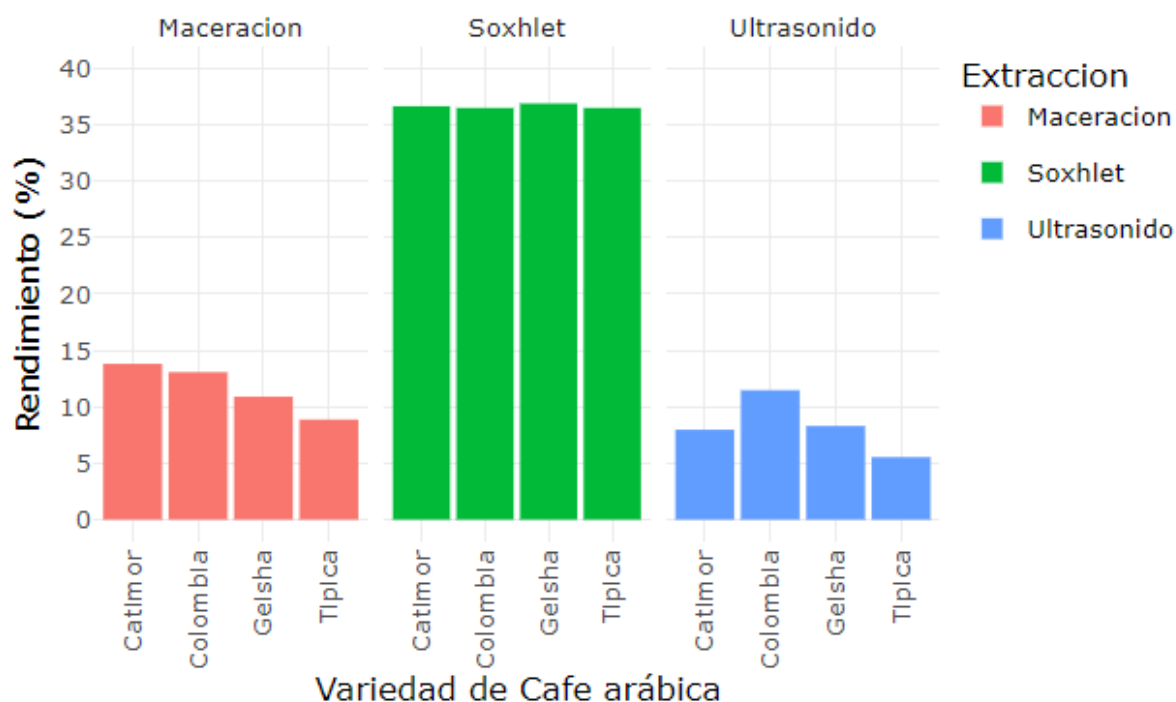
Rendimiento de extracción para cada tratamiento de la pulpa del cerezo de café deshidratada del proceso de extracción

Extractos	Método de extracción	Variedad de café	Rendimiento del extracto		
			\bar{X}	S	%
E1	Soxhlet	Catimor	36.64	1.93	37.00
E2	Soxhlet	Colombia	36.49	0.36	36.00
E3	Soxhlet	Geisha	36.88	0.16	37.00
E4	Soxhlet	Típica	36.49	0.41	36.00
E5	Ultrasonido	Catimor	07.97	0.55	8.00
E6	Ultrasonido	Colombia	11.47	0.61	11.00
E7	Ultrasonido	Geisha	08.30	0.48	8.00
E8	Ultrasonido	Típica	05.54	0.76	6.00
E9	Maceración	Catimor	13.81	0.08	14.00
E10	Maceración	Colombia	13.07	0.48	13.00
E11	Maceración	Geisha	10.90	0.25	11.00
E12	Maceración	Típica	08.87	0.66	9.00

Nota: \bar{X} , es la media; S, desviación estándar; %, rendimiento de extracción.

Figura 42

Porcentaje del rendimiento de extracción de la pulpa del cerezo de café arábica para para cada tratamiento



En la Figura 42 se puede observar el rendimiento de extracción (%) para cada tratamiento entre el método de extracción y la variedad de la pulpa del cerezo de café. Durante el proceso de extracción de compuestos bioactivos se registraron capacidades de extracción de un mínimo de 5.54 ± 0.76 hasta un máximo de 36.88 ± 0.16 porciento de extracto. Además, se puede observar que el método de extracción Soxhlet alcanzo lo valores máximos de extracción para las cuatro variedades, pero con muy poca diferencia entre sí, con los tratamientos E1, E2, E3 y E4. En contraste, la extracción por Maceración que produjo rendimientos intermedios en los tratamientos E9, E10 y E11, a excepción del extracto E12 con un rendimiento inferior al 10%. La extracción por Ultrasonido que son

los tratamientos E6, E7, E8 y E9 reportan valores mínimos con todas las variedades de café.

Tabla 22

Análisis de Varianza para Rendimiento de Extracción (SC Tipo III)

Fuente	Suma Cuadrados	de	Gl	Cuadrado Medio	Razón- F	Valor- P
EFFECTOS						
PRINCIPALES						
A: METODO DE EXTRACCIÓN	4945,3		2	2472,65	4731,37	0,0000
B: TIPO DE CAFE	189,662		3	63,2207	120,97	0,0000
INTERACCIONES						
AB	51,0205		6	8,50341	16,27	0,0000
RESIDUOS	12,5426		24	0,522607		
TOTAL (CORREGIDO)	5198,52		35			

Nota: Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

En la Tabla 22 se puede observar los resultados del análisis de varianza para el rendimiento de extracción de compuestos bioactivos; siendo el el método de extracción (A) y la variedad de la pulpa del cerezo de café (B). El valor p para el método de extracción y la variedad de la pulpa de cerezo de café no supera 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento de extracción con un 95.0% de nivel de confianza, donde ambos factores interactúan generando una variación en el rendimiento de los extractos. Estos resultados sugieren que la interacción específica del método de extracción y variedad de café es importante para mejorar la cantidad de extracto obtenido. Los valores-p prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que tres valores-p son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente

significativo sobre el rendimiento de los extractos con un 95.0% de nivel de confianza. Entonces, se puede decir que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_A).

En la Tabla 23 y 24 se muestra el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey (95%) para evidenciar diferencias significativas entre las medias los grupos homogéneos del método de extracción y la variedad de café con respecto a la recuperación de extractos.

Tabla 23

Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para rendimiento por método de extracción.

<i>Método de extracción</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	
<i>Ultrasonido (2)</i>	12	8.31867	0.208688	A	
<i>Maceración (3)</i>	12	11.6623	0.208688	B	
<i>Soxhlet (1)</i>	12	34.6842	0.208688	C	

<i>Contraste</i>	<i>Diferencia sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Valor p</i>
1 - 2	Si	26.3655	23.5924	29.1426	0.0000
1 - 3	Si	23.0225	20.2474	25.7976	0.0000
2 - 3	Si	3.34367	0.5699	6.1201	0.0153

En la Tabla 23 se muestra el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar qué medias del método de extracción difieren significativamente entre sí para el rendimiento de extracción. El valor p para las comparaciones entre los métodos de extracción no supera 0.05, por lo que rechazamos la hipótesis nula de que existe una diferencia significativa entre sus medias de Soxhlet, Ultrasonido y Maceración. Además, se ha identificado tres grupos homogéneos mediante las columnas de letras que

conforman un grupo de medias, dentro del cual existe diferencias estadísticamente significativas entre aquellos que no compartan una misma columna de letras. La media más alta corresponde a la extracción por Soxhlet, que supero a Maceración y Ultrasonido; Maceración fue superior a Ultrasonido. Por lo tanto, cuando el objetivo es maximizar el rendimiento de extracción, Soxhlet constituye el método más efectivo bajo las condiciones evaluadas.

Tabla 24

Comparación múltiple, Tukey HDS 95% para rendimientos por variedad de café

<i>Variedad de café</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>	
<i>Típica (4)</i>	9	14.3762	0.240972	A	
<i>Geisha (3)</i>	9	18.6967	0.240972	A	
<i>Catimor (1)</i>	9	19.4712	0.240972	A	
<i>Colombia (2)</i>	9	20.3428	0.240972	A	

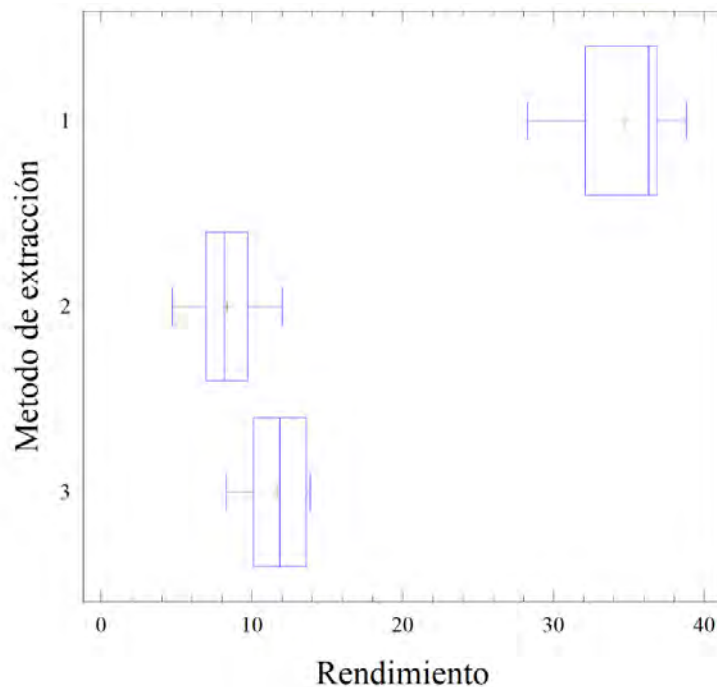
<i>Contraste</i>	<i>Diferencia sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Valor p</i>
1 - 2	No	0.8722	15.108	16.8524	0.9988
1 - 3	No	0.7756	15.2027	16.7558	0.9992
1 - 4	No	5.095	10.8858	21.0747	0.8233
2 - 3	No	1.6478	14.3324	17.6280	0.9922
2 - 4	No	5.96656	10.0135	21.9469	0.7439
3 - 4	No	4.32044	11.6613	20.2991	0.8834

En la Tabla 24 se observa el reporte de comparaciones múltiples HSD de Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar qué medias de la variedad de café difieren significativamente entre sí para el rendimiento de extracción. El valor p para las comparaciones entre las variedades de pulpa del cerezo de café supera 0.05, por lo que aceptamos la hipótesis nula de que no existe una diferencia significativa entre sus medias. Además, se ha identificado

solo un grupo homogéneo mediante las columnas de letras que conforman un grupo de medias, dentro del cual no existe diferencias estadísticamente significativas entre aquellos que compartan una misma columna de letras. Por consiguiente, las variedades Colombia y Catimor, Geisha y Típica independientemente del método de extracción logran obtener el un rendimiento de extracción sin diferencia estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%.

Figura 43

Rendimiento de extracción de compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café seco según el Método de extracción



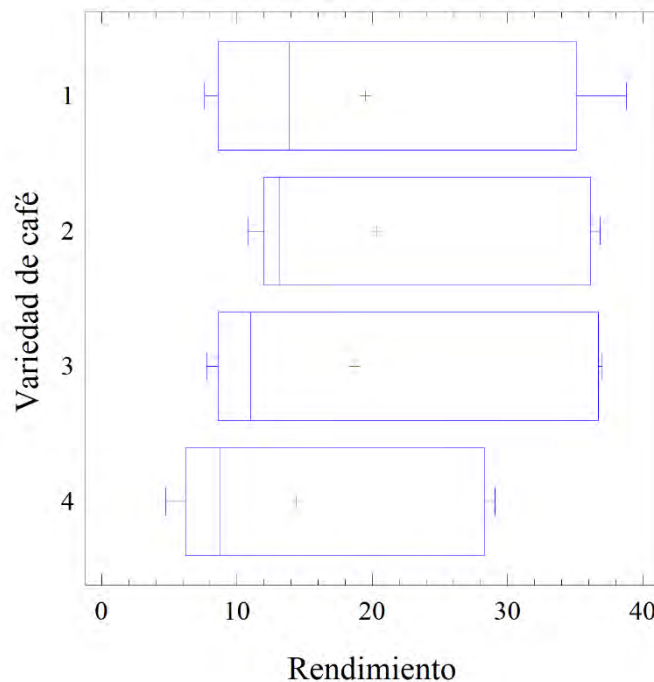
En la Figura 43 se muestra la distribución del rendimiento de extracto en un gráfico de cajas y bigotes para los tres Método de extracción (Maceración, Soxhlet y Ultrasonido) respecto al rendimiento de extracción. El método Soxhlet presentó el mayor rendimiento, con una Mediana de 36.3135, con un cuartil inferior de 32.102 y un cuartil superior de 38.91 y un rango intercuartílico de 6.808 que no se superpone con los otros métodos. Por

su parte, el método Maceración mostró un rendimiento intermedio con una Mediana de 11.835, mientras que el método Ultrasonido tuvo el rendimiento más bajo (media = 8.149). Estos resultados son consistentes con la prueba de Tukey HSD, que indicó diferencias significativas entre los tres métodos ($p < 0.05$).

El rendimiento de extracción o capacidad de extracción de compuestos bioactivos, que mayor rendimiento obtuvo fue usando el equipo de extracción por Soxhlet, con una media de 36.31%, este resultado es superior al rendimiento obtenido por Duangjai et al. (2016), que obtuvo un rendimiento extractivo máximo de 28.74% seco, utilizando extracción con agua, y el solvente se separó por liofilización. Según lo reportado por Andrade et al. (2012) obtuvo un rendimiento de extracción del 4.8% por Soxhlet y 3.1% por Ultrasonido, utilizando Etanol como solvente.

Figura 44

Rendimiento de extracción de compuestos bioactivos de la pulpa del cerezo de café seco según el Variedad de café arábica

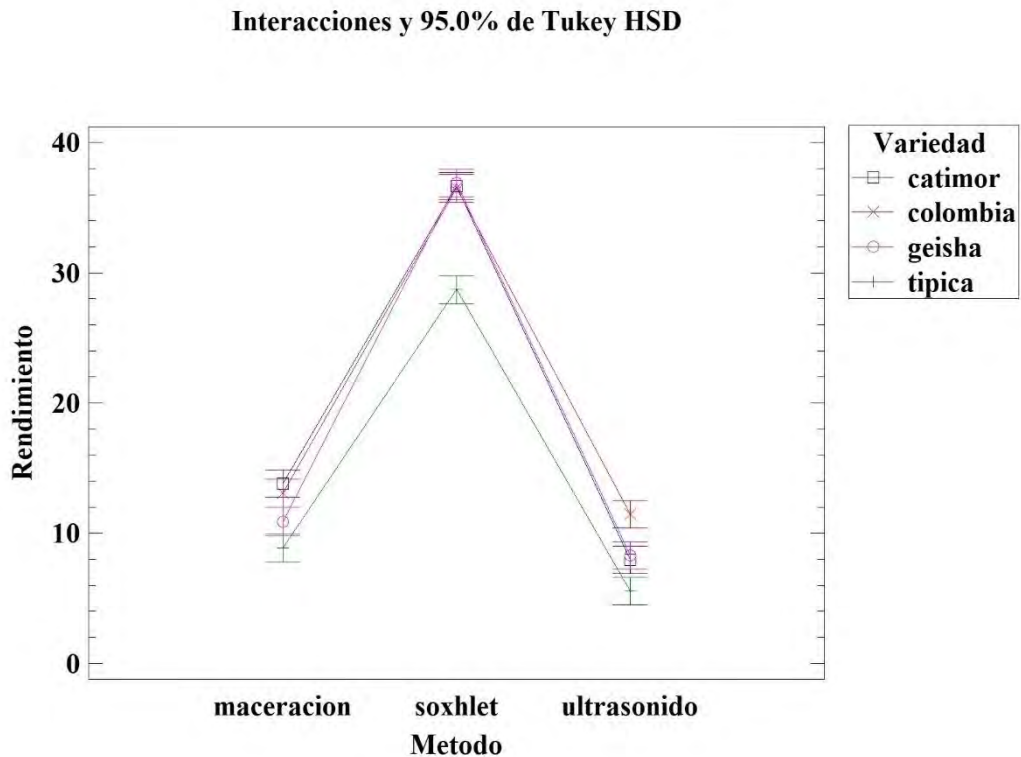


En la Figura 44 se observa la distribución del rendimiento de extracción respecto al Variedad de café en un gráfico de cajas y bigotes. Se puede observar que el café de la variedad Catimor tiene un mayor rendimiento de extracción con una mediana de 13.83 que mayor respecto a las demás variedades de café, seguidamente por el café Colombia amarillo obtuvo una mediana de 13.11. por su parte la variedad Geisha obtuvo un valor de 10.99; finalmente la variedad típica resultó con una media de 10.87 respectivamente. Según los resultados de la prueba de Tukey HSD, que indicó que no existe diferencias significativas entre los tres métodos ($p < 0.05$).

Según los resultados reportados por Cruzalegui et al. (2021) indican que la capacidad de extracción estuvo relacionada con el lugar de procedencia de la muestra, el tipo de deshidratado y el tipo de solvente, donde reportan un rendimiento de extracción del

Figura 45

Interacción del método de extracción y variedad de pulpa del cerezo de café en el rendimiento de extracción



En la Figura 45 se observa el gráfico de interacción muestra que el rendimiento de extracción esta significativamente influenciado por el Método de extracción, siendo Soxhlet más eficiente en comparación con Maceración y Ultrasonido, que presentan rendimiento de extracción notablemente menores y similares entre sí, esto se observa para los cuatro tipos de café evaluadas (Catimor, Colombia, Geisha y Típica), se puede observar leves diferencias entre los rendimientos específicos de cada variedad. Existe interacción en rendimiento entre los extractos de café Colombia y Geisha por Soxhlet. Geisha y Colombia tienden a mostrar rendimientos ligeramente superiores, mientras que Típica presenta los valores más bajos en los tres métodos.

La cuantificación del rendimiento de extracción evidenció efectos principales del método y de la variedad, así como una interacción método y variedad de café estadísticamente significativa. Los porcentajes de recuperación oscilaron entre $5,54 \pm 0,76$ % y $36,88 \pm 0,16$ %. Soxhlet proporcionó los mayores rendimientos en todas las variedades (E1-E4), Maceración alcanzó valores intermedios (E9-E12) y Ultrasonido los más bajos (E5-E8). El análisis post hoc (Tukey, 95 %) confirmó tres grupos homogéneos bien separados, con diferencias significativas entre Soxhlet y Ultrasonido (26,37), Soxhlet y Maceración (23,02) y Maceración y Ultrasonido (3,34), corroborando que la extracción continua con recirculación de solvente y temperatura sostenida maximiza la solubilización de sólidos extractables frente a regímenes difusivos a baja temperatura o a sonicación breve (Andrade et al., 2012; Silva et al., 2020).

En cuanto a la variedad de café, las medias ajustadas ordenaron los rendimientos, siendo la variedad Colombia, seguido de Catimor cercano Geisha, finalmente Típica, con pares significativos según Tukey ($\alpha=0.05$). Bajo la extracción por Soxhlet, Colombia y Geisha tendieron a rendimientos levemente superiores, mientras que Típica presentó los valores más bajos de forma consistente; en Maceración y Ultrasonido las diferencias entre variedades se ajustaron. Este patrón sugiere que, bajo condiciones exhaustivas, la fracción de solutos globalmente extraíbles de cada matriz gobierna la recuperación total, mientras que en procesos menos exhaustivos prevalece cierta selectividad hacia fracciones más polares o superficialmente accesibles (Cruzalegui et al., 2021; Silva et al., 2020).

Andrade et al. (2012) informaron rendimientos más bajos para pulpa con etanol (4,8 % por Soxhlet y 3,1 % por ultrasonido), lo que pone de relieve el peso del sistema solvente y del acondicionamiento de la biomasa respecto de las cifras aquí observadas.

Rojas Orduña et al. (2023) reportaron un rendimiento máximo de 7,30 % asociado a una fracción específica de carotenoides en caturra roja (1:40; etanol: acetato de etilo 80:20; liofilizada), métrica no equivalente al rendimiento total de extracto. En matrices acuosas, la literatura se centra en capacidad antioxidante y contenido fenólico más que en rendimientos globales; no obstante, infusiones y decocciones a alta temperatura y tiempos cortos pueden incrementar la remoción de sólidos sin que ello implique mayor enriquecimiento en bioactivos diana (Delgado et al., 2019; Neves et al., 2019; Silva et al., 2020). En contextos regionales afines, Cruzalegui et al. (2021) evidenciaron que la procedencia, el tipo de deshidratado y el solvente condicionan tanto el rendimiento como la composición, alcanzando máximos cercanos a 55 % bajo condiciones específicas; nuevamente, la comparabilidad exige igualar bases y condiciones.

Desde una perspectiva operativa, los datos respaldan dos decisiones complementarias. Si el objetivo primario es maximizar la cantidad de extracto para subsecuentes fraccionamientos o ensayos, Soxhlet resulta el método más eficaz dentro del espacio experimental evaluado. Si el objetivo es obtener extractos más selectivos en bioactivos, Maceración o Ultrasonido, pese a su menor rendimiento, pueden ofrecer ventajas por su menor estrés térmico y potencial selectividad, lo que es coherente con el mejor desempeño relativo en capacidad antioxidante observado en ciertos esquemas no exhaustivos (Silva et al., 2020; Tran et al., 2022).

CONCLUSIONES

- La pulpa del cerezo de café cosechada en estados maduro de las cuatro variedades de café arábica presenta colores diferentes según el análisis de color realizado la pulpa del cerezo de café arábica. El análisis colorimétrico CIE $L^*a^*b^*$ evidenció diferencias significativas ($\Delta E > 12$) entre las cuatro variedades de *Coffea arábica*. La pulpa de la variedad Típica presentó los valores más bajos de luminosidad y una tonalidad rojiza pronunciada ($L^* = 33.14 \pm 2.74$; $a^* = 30.23 \pm 2.49$; $b^* = 13.60 \pm 1.25$), mientras que Colombia mostró la mayor brillantez y componente amarillo ($L^* = 79.99 \pm 3.33$; $b^* = 68.49 \pm 3.10$). Estas diferencias cromáticas reflejan variaciones varietales en la concentración y tipo de pigmentos fenólicos
- La pulpa fresca presentó una humedad relativa promedio de 83.42 ± 1.3 %, valor que la clasifica como un subproducto altamente perecedero. El proceso de secado controlado redujo la humedad a 11.05 ± 1.30 %, rango considerado óptimo para su conservación y posterior extracción de compuestos bioactivos, minimizando riesgos de fermentación y deterioro.
- Los resultados obtenidos de los componentes polifenólicos totales en los extractos de pulpa de Coffe arábica dependió significativamente del Método de extracción y la variedad de café utilizada. Los valores oscilaron entre 33.5 ± 2.0 mg AG/g y 277.3 ± 16.1 mg AG/g de extracto seco. Las combinaciones más eficientes fueron la Maceración con agitación en la variedad Típica y la extracción por Soxhlet en Catimor, ambas alcanzando el valor máximo registrado.
- La actividad antioxidante con mayor porcentaje de inhibición fue variedad Típica (60.5%), seguido de la variedad Catimor (49%), luego siguió la variedad Colombia (45%) y finalmente la variedad Geisha (30%). En términos de proceso la extracción por Maceración ($112.13 \mu\text{g/g}$), y Ultrasonido ($115.33 \mu\text{g/g}$). Esto respalda que la sobreexposición térmica disminuye la respuesta antioxidante, mientras que regímenes de cavitación moderada favorecen la

preservación y liberación de compuestos activos. Finalmente, de acuerdo a los resultados el método de extracción por Maceración y la pulpa del cerezo de café de la variedad Típica son la mejor combinación para la extracción con mayor capacidad antioxidante.

- La variedad Geisha presento los valores más altos de rendimiento de extracción (36.88%), seguido de la variedad Catimor (36.64%) y finalmente las variedades Típica y Colombia (36.49%), especialmente bajo la extracción Soxhlet ($T=73^{\circ}\text{C}$), obteniéndose un rendimiento promedio de 34.68% de extracto recuperado del aprovechamiento de biorresiduo utilizando esta técnica de extracción. La extracción Soxhlet fue la más eficiente para obtener mayor rendimiento de extracción, seguida de Maceración y finalmente Ultrasonido.
- El mayor rendimiento de extracción de componentes bioactivos cuantitativo se obtuvo extrayendo con el sifón de Soxhlet a una temperatura de 73°C , en las cuatro variedades de pulpa del cerezo de café arábica; con un promedio de 34.68% de extracto recuperado del aprovechamiento de biorresiduo, seguido de la extracción por Maceración ($T=30^{\circ}\text{C}$) a una temperatura de 30°C con la variedad Catimor y la por último por Ultrasonido ($T=60^{\circ}\text{C}$).

RECOMENDACIONES

- Investigar la aplicación de extractos de la pulpa del cerezo de café en el industrial alimentario como microencapsulación para evitar la degradación de algunos polifenoles como son las antocianinas.
- Evaluar la estabilidad del extracto en productos alimentarios, como macerados y bebidas.
- Evaluar la estabilidad del extracto como colorante natural en productos alimentarios.
- Evaluar la estabilidad del extracto en el teñido de fibras textiles de camélidos sudamericano.
- Caracterizar de los componentes bioactivos por cromatografía líquida y los nuevos métodos de análisis existentes (HPLC, IL-HPLC, LC-MS).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade, K. S., Gonálvez, R. T., Maraschin, M., Ribeiro-Do-Valle, R. M., Martínez, J., & Ferreira, S. R. S. (2012). Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: Antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition. *Talanta*, 88, 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.11.031>
- Ashok, P., Carlos R. Soccol, Poonam, N., Debora, B., Radjiskumar, M., & Sevastianos, R. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6(2), 153–162. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X)
- Atrahimovich, D., Avni, D., & Khatib, S. (2021). Flavonoids-macromolecules interactions in human diseases with focus on alzheimer, atherosclerosis and cancer. In *Antioxidants* (Vol. 10, Issue 3, pp. 1–16). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox10030423>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Barragán, M., Carrión, H. M., Pumacallahui, E., Casafranca, R., Márquez, F. R., Quispe, U. S., & Huamaní, V. J. (2023). Influencia de la variedad y del método de conservación en los compuestos bioactivos de la pulpa y cáscara de cereza de café (*Coffea arabica*). *Investigación Agraria*, 25(2), 57–63. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2023.diciembre.2502735>

- Bonilla, V. A., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). Utilization of coffee by-products obtained from semi-washed process for production of value-added compounds. *Bioresource Technology*, 166, 142–150. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2014.05.031>
- 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)
- Cerna Mejia, L. F., & Torres Orzelis, J. G. (2020). *Obtención de aceite esencial a partir de residuos de cáscara de naranja (Citrus sinensis Var. Valencia) utilizando un sistema de hidrodestilación convencional acoplado a un equipo de microondas para su extracción óptima.*
- Cruzalegui, R. J., Güivin, O., Fernández, A. B., & Cruz, R. (2021). Caracterización de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de pulpa del cerezo de café (*Coffea arabica* L.) deshidratada de tres fincas cafeteras de la región Amazonas (Perú). *Información Tecnológica*, 32(5), 157–166. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000500157>
- Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., & Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152(4), 465–512. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8339.2006.00584.X>
- Delgado, S. R., Arbelaez, A. F. A., & Rojano, B. (2019). Antioxidant capacity, bioactive compounds in coffee pulp and implementation in the production of infusions. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 18(3), 235–248. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2019.0663>
- Duangjai, A., Suphrom, N., Wungrath, J., Ontawong, A., Nuengchamnong, N., & Yosboonruang, A. (2016). Comparison of antioxidant, antimicrobial activities and chemical profiles of three

- coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extracts. *Integrative Medicine Research*, 5(4), 324–331. <https://doi.org/10.1016/J.IMR.2016.09.001>
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.05.028>
- Esquivel, P., Viñas, M., Steingass, C. B., Gruschwitz, M., Guevara, E., Carle, R., Schweiggert, R. M., & Jiménez, V. M. (2020). Coffee (*Coffea arabica* L.) by-Products as a Source of Carotenoids and Phenolic Compounds-Evaluation of Varieties With Different Peel Color. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 590597. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.590597/BIBTEX>
- Eustaquio, R., & Trejo, A. (2001). Solubility of n-octadecane in supercritical carbon dioxide at 310, 313, 333 and 353 K, in the range 10-20 Mpa. *Fluid Phase Equilibria*, 185(1–2), 231–239. [https://doi.org/10.1016/S0378-3812\(01\)00473-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3812(01)00473-3)
- Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, Farid. (2007). Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave “dry” distillation. *Flavor and Frangrance Journal*, 22, 494–504. <https://doi.org/10.1002/ffj.1829>
- Fierro, C., Contreras, O., Gonzales, R., Rosas, M., & Morales, R. (2018). Caracterización química y nutrimental de la pulpa del cerezo de café (*Coffea arabica* L.). In *Aceptado: abril* (Vol. 11).
- Figueroa Fernández, S. H. (2022). *Aplicación De Ultrasonido Como Pretratamiento En La Extracción Por Microondas De Aceite Esencial De Cáscara De Naranja (Citrus Sinensis L. Osbeck)*. www.researchgate.net/publication/273476316_Comparacion_de_la_Hidrodestilacion_Asistida_por_Radiacion_de_Microondas_MWHD_con_Hidrodestilacion_Convencional_H

- García Jara, J. T. (2017). *Extracción de aceite esencial por fluidos supercríticos y arrastre con vapor de cedrón (aloesia triphylla) en la región Arequipa*. UNSA.
- Geremu, M., Tola, Y. B., & Sualeh, A. (2016). Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0077-1/>
- Hernández Sampieri, R., Feránadez Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&info=resumen&idioma=SPA>
- Hijar, L. G., Ilave, D. W., & Artica, L. W. (2017). *Extracción por arrastre de vapor del aceite esencial del hinojo (foeniculumvulgare) y su caracterización*.
- Hoang, T., & Kim, J. (2021). Phytonutrient supplements and metabolic biomarkers of cardiovascular disease: An umbrella review of meta-analyses of clinical trials. In *Phytotherapy Research* (Vol. 35, Issue 8, pp. 4171–4182). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/ptr.7079>
- Huang, R. T., Lu, J. F., Inbaraj, B. S., & Chen, B. H. (2015). Determination of phenolic acids and flavonoids in *Rhinacanthus nasutus* (L.) kurz by high-performance-liquid-chromatography with photodiode-array detection and tandem mass spectrometry. *Journal of Functional Foods*, 12, 498–508. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.12.002>
- International coffea organization. (2014). *Coffee market report*. <https://icocoffee.org/>
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 110–117. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2017.10.001>

- Julca, A., Alvarado, L., Borjas, R., Castro, V., León, F., Valderrama, D., & Bello, S. (2023). Variedades de café (*Coffea arabica*), una revisión y algunas experiencias en el Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(2), 134–155. <https://doi.org/10.53287/ruyx4519vm15b>
- Konica Minolta, I. (2023). *Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B**. <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Kussmann, M., Abe Cunha, D. H., & Berciano, S. (2023). Bioactive compounds for human and planetary health. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 10). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1193848>
- Lawag, I. L., Islam, M. K., Sostaric, T., Lim, L. Y., Hammer, K., & Locher, C. (2023). Antioxidant Activity and Phenolic Compound Identification and Quantification in Western Australian Honeys. *Antioxidants*, 12(1), 189. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX12010189/S1>
- Liang, N., Kitts, D. D., Wang, X., Hu, Z., & Sabier, M. (2025). Phenolic Acid Composition of Coffee Cascara in Connection with Antioxidant Capacity: A Geographic Assessment. *Antioxidants*, 14(5), 502. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX14050502/S1>
- Lima, C. O., Dias, E. R., Reis, I. M. A., Carneiro, K. O., Pinheiro, A. M., Nascimento, A. S., Silva, S. M. P. C., Carvalho, C. A. L., Mendonça, A. V. R., Vieira, I. J. C., Braz Filho, R., & Branco, A. (2022). Ferulic acid as major antioxidant phenolic compound of the *Tetragonisca angustula* honey collected in Vera Cruz - Itaparica Island, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e253599. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.253599>
- López-Carmona, D., Gallegos, Á., Palma-López, D. J., Martín-Morales, G., Barragán-Maravilla, M., Hernández-Vallecillo, G., Bautista, F., López-Carmona, D., Gallegos, Á., Palma-López, D. J., Martín-Morales, G., Barragán-Maravilla, M., Hernández-Vallecillo, G., & Bautista, F.

- (2021). Selección de tierras para el cultivo de café en zonas con información escasa: análisis espacial del territorio y conocimiento local. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(1). <https://doi.org/10.19136/ERA.A8N1.2419>
- López, C. J., Caleja, C., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2018). Optimization and comparison of heat and ultrasound assisted extraction techniques to obtain anthocyanin compounds from *Arbutus unedo* L. Fruits. *Food Chemistry*, 264, 81–91. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.04.103>
- López, M. A., & Catro de Luque, M. D. (2020). Liquid-Phase Extraction, Soxhlet Extraction. In Colin F. Poole (Ed.), *Liquid-Phase Extraction*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00011-6>
- Mannino, G., Kunz, R., & Maffei, M. E. (2023). Discrimination of Green Coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of Different Geographical Origin Based on Antioxidant Activity, High-Throughput Metabolomics, and DNA RFLP Fingerprinting. *Antioxidants*, 12(5), 1135. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX12051135/S1>
- Manzoor, M., Singh, J., Gani, A., & Noor, N. (2021). Valorization of natural colors as health promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry*, 362, 130141. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130141>
- Márquez-Romero, F. R., Huamán, S., Carrión Sánchez, H. M., Peña Valdeiglesias, J., & Cabrera Márquez, S. (2020). Caracterización de la calidad física y sensorial de café de Cirialo – La Convención Cusco-Perú. *TAYACAJA*, 3(2). <https://doi.org/10.46908/rict.v3i2.106>

- Martínez, A. (2005). *FLAVONOIDES* [Universidad de Antioquia].
<https://www.yumpu.com/es/document/view/14473174/flavonoides-facultad-de-quimica-farmaceutica-universidad->
- Martínez, A. (2020). *Química de Productos Naturales* (Facultad de Ciencias Farmaceuticas y Alimentarias, Ed.; Primera Edición, Vol. 1). Universidad de Antioquia. <https://pxhere.com/>
- Matuszewska, A., Jaszek, M., Stefaniuk, D., Ciszewski, T., & Matuszewski, Ł. (2018). Anticancer, antioxidant, and antibacterial activities of low molecular weight bioactive subfractions isolated from cultures of wood degrading fungus *Cerrena unicolor*. *PLOS ONE*, 13(6), e0197044. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0197044>
- MIDAGRI. (2024). *Reporte Estadístico de Café*.
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojN2U3NTdkYTktOTk5Ny00NjQ5LTg0ZjEtMmIzYzlmZWlwMDhlIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- MIDAGRI, M. de D. A. y R. (2021, September 16). *MIDAGRI: Perú se consolida como octavo exportador mundial de café - Noticias - Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego - Gobierno del Perú*. Nota de Prensa. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/523046-midagri-peru-se-consolida-como-octavo-exportador-mundial-de-cafe>
- Montañez Artica, A. G., Arias Ricaldi, J. N., Ayala Salcedo, W., Carrera Rojo, R. P., Davila Perez, J., & Campos Tello, J. D. (2022). *Manual del cultivo de café en el VRAEM*.
<https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/1208/1/Manual%20del%20cultivo%20de%20caf%C3%A9%20en%20el%20VRAEM%20%281%29.pdf>
- Montgomery, D. C., & Wiley, J. (2013). *Design and Analysis of Experiments* (Eighth edition). Wiley. www.wiley.com/go/permissions.

- Murali, D., & Yasir, M. (2022). Spectroscopy and Spectrophotometry: Principles and Applications for Colorimetric and Related Other Analysis. In S. Ashis Kumar (Ed.), *Colorimetry* (1st ed., pp. 1–23). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.101106>
- Murthy, P. S., & Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2012.06.005>
- Myo, H., Liana, D., & Phanumartwiwath, A. (2024). Unlocking Therapeutic Potential: Comprehensive Extraction, Profiling, and Pharmacological Evaluation of Bioactive Compounds from *Eclipta alba* (L.) Hassk. for Dermatological Applications. In *Plants* (Vol. 13, Issue 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/plants13010033>
- Neves, J. V., Borges, M. V., Silva, D. de M., Leite, C. X. D. S., Santos, M. R. C., LIMA, N. G. B., Lannes, S. C. da S., & da Silva, M. V. (2019). Total phenolic content and primary antioxidant capacity of aqueous extracts of coffee husk: chemical evaluation and beverage development. *Food Science and Technology (Brazil)*, 39, 348–353. <https://doi.org/10.1590/fst.36018>
- Oliveira, L. S., & Franca, A. S. (2015). An Overview of the Potential Uses for Coffee Husks. In *Coffee in Health and Disease Prevention* (pp. 283–291). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00031-0>
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. <https://doi.org/10.1017/JNS.2016.41>
- Preedalikit, W., Chittasupho, C., Leelapornpisid, P., Potprommanee, S., & Kiattisin, K. (2023). Comparison of Biological Activities and Protective Effects on PAH-Induced Oxidative

- Damage of Different Coffee Cherry Pulp Extracts. *Foods*, 12(23), 4292.
<https://doi.org/10.3390/FOODS12234292>
- Rana, A., Samtiya, M., Dhewa, T., Mishra, V., & Aluko, R. E. (2022). Health benefits of polyphenols: A concise review. *Journal of Food Biochemistry*, 46(10), e14264.
<https://doi.org/10.1111/JFBC.14264>
- Ridder, M. (2024). *Global Arabica coffee production 2005/06-2023/24*.
- Rocha Baqueta, M., Thais do Prado Silva, J., Fernandes Moya Moreira, T., Antonio Canesin, E., Hess Gonçalves, O., Rodrigues dos Santos, A., Coqueiro, A., Demczuk Junior, B., & Vitória Leimann, F. (2017). Extração e caracterização de compostos do resíduo vegetal casca de café. *Brazilian Journal of Food Research*, 8(2), 68–88.
<https://doi.org/10.3895/REBRAPA.V8N2.6887>
- Rojas Orduña, E., Hernández Carrión, M., Gómez Franco, J. D., Narváez Cuenca, C. E., & Sánchez Camargo, A. del P. (2023). Utilization of red and yellow Coffea arabica var. Caturra pulp: macronutrient analysis, carotenoid extraction, and encapsulation for dairy product enrichment. *Frontiers in Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1231049>
- Setter, C., Silva, F. T. M., Assis, M. R., Ataíde, C. H., Trugilho, P. F., & Oliveira, T. J. P. (2019). *Slow pyrolysis of coffee husk briquettes: Characterization of the solid and liquid fractions*.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116420>
- Sevillano, R., Siche, R., Castillo, W., & Silva, E. (2019). Optimization of the extraction by steam extraction of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) using sequential designs. *Manglar*, 16(1), 53–61. <https://doi.org/10.17268/manglar.2019.008>
- Silva, M. de O., Honfoga, J. N. B., de Medeiros, L. L., Madruga, M. S., & Bezerra, T. K. A. (2020). Obtaining Bioactive Compounds from the Coffee Husk (*Coffea arabica* L.) Using Different

- Extraction Methods. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 46, 26(1), 46.
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES26010046>
- Silva Rincón, C. I., Alarcón Gutiérrez, E., García Pérez, J. A., Sánchez-Velásquez, L. R., Iglesias Andreu, L. G., Silva Rincón, C. I., Alarcón Gutiérrez, E., García Pérez, J. A., Sánchez-Velásquez, L. R., & Iglesias Andreu, L. G. (2024). La variedad de café Geisha y su estatus en el mundo y en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(7).
<https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V15I7.3403>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Temis, A. L., López, V., & Sosa, M. E. (2011). Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. In M. E. Barcenas (Ed.), *Temas Selectos de Ingeniera de Aliementos* (1st ed., Vol. 5). Universidad De Las Americas Puebla.
<https://contexto.udlap.mx/tsia-vol-5-no-2-ago-dic-2011/>
- Tran, T. M. K., Akanbi, T. O., Kirkman, T., Nguyen, M. H., & Vuong, Q. Van. (2022). Recovery of Phenolic Compounds and Antioxidants from Coffee Pulp (*Coffea canephora*) Waste Using Ultrasound and Microwave-Assisted Extraction. *Processes*, 10(5).
<https://doi.org/10.3390/pr10051011>
- Van Duynhoven, J., Vaughan, E. E., Jacobs, D. M., Kemperman, R. A., Van Velzen, E. J. J., Gross, G., Roger, L. C., Possemiers, S., Smilde, A. K., Doré, J., Westerhuis, J. A., & Van De Wiele, T. (2011). Metabolic fate of polyphenols in the human superorganism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(SUPPL. 1), 4531–4538.

<https://doi.org/10.1073/PNAS.1000098107/ASSET/88261615-2862-4C93-953C->

[FA302313D49A/ASSETS/GRAPHIC/PNAS.1000098107FIG03.JPEG](https://doi.org/10.1073/PNAS.1000098107/ASSETS/GRAPHIC/PNAS.1000098107FIG03.JPEG)

World Coffee Research. (2026). *Las variedades de café de Mesoamérica y el Caribe. Un catálogo global de variedades que abarca: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, Kenia, Malawi, Nicaragua, Panamá, Perú, República Dominicana, Rwanda, Uganda, Zambia, Zimbabue*. <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/variedades/geisha-panama>

Zygler, A., Słomińska, M., & Namieśnik, J. (2012). Soxhlet Extraction and New Developments Such as Soxtec. In University of Technology (Ed.), *Comprehensive Sampling and Sample Preparation: Analytical Techniques for Scientists* (1st ed., Vol. 2, pp. 65–82). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.00037-5>

ANEXO 1

Matriz de consistencia

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipotesis	Definición de operaciones		Recolección de datos	
			Variables	Metodo	Indicadores	Instrumentos
¿Cuál es el efecto del método de extracción y la variedad de pulpa de cerezo de café sobre el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y el rendimiento de los extractos obtenidos?	Evaluar el efecto del método de extracción y la variedad de pulpa de cerezo de café sobre el contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y el rendimiento de los extractos obtenidos.	El método de extracción (Soxhlet, Ultrasonido y Maceración), y la variedad de pulpa de café arábica (Catimor, Colombia, Geisha y Típica) y la interacción afectan significativamente en el contenido de polifenoles totales, actividad antioxidante y el rendimiento de extracción	Variables Independientes Tipo de extracción Tipo de café arabica	Experimental		Equipo Soxhlet Ultrasonido Incubadora con agitacion
			Variables Dependientes Composicion de bioactivos	Intrumental	mL/kgDW	Relacion v/p
¿Cuáles son las características de las variedades de pulpa de cerezo de café en función a sus variedad, altitud, humedad y grado de madurez?	Caracterizar la pulpa de cerezo de café de las cuatro variedades, Catimor, Colombia, Geisha y Típica, antes de la extracción, determinando, de café arábica con respecto a la humedad, la altitud, humedad, grado de madurez y parámetros de color (L*, a*, b*).	Existe diferencia entre las variedades de pulpa y color de la pulpa de café).	Color, Humedad y Ubicación	Instrumental	Lab*, HR, Latitud, Longitud	Colorimetro, Medidar de humedad, GPS
¿Existen diferencias significativas en el contenido de polifenoles totales, de los extractos obtenidos por Soxhlet, Maceración y Ultrasonido por variedades de café arábica?	Determinar el contenido de compuestos bioactivos (polifenoles totales) presentes en los extractos obtenidos mediante los diferentes métodos de extracción y variedad de pulpa de café.	La media de los polifenoles totales influirá significativamente entre los métodos de extracción y las variedades de Pulpa de café arábica y su interacción.	Polifenoles totales	Folin-Ciocalteu	mgAG/g	Espectrofotometria UV-VIS,
¿Existe diferencia significativa en la actividad antioxidante de los extractos obtenidos por Soxhlet, Maceración y Ultrasonido por variedades de café arábica?	Evaluar la actividad antioxidante de los extractos de pulpa de café en función del método de extracción y de la variedad utilizada.	La media de la actividad antioxidante influirá significativamente entre los métodos de extracción y las variedades de pulpa de café arábica y su interacción.	Antioxidantes	DPPH	mg GAE/100g	Ensayo de actividad antioxidante por DPPH
¿Existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción en función al método de extracción y de la variedad de pulpa de café arábica?	Analizar el rendimiento, porcentaje de extracción, de cada tratamiento y establecer la variedad de pulpa de café.	La media del rendimiento influirá significativamente entre los métodos de extracción y las variedades de pulpa de café arábica y su interacción.	Rendimiento	Separacion	g extracto/g de muestra seca	Rotaevaporador

ANEXO 2

Análisis de color de la pulpa del cerezo de café arábica en
estado maduro

Anexo 2 *Análisis de color de la pulpa del cerezo de café arábica en estado maduro*

Tabla 25

*Valores de las coordenadas L*a*b* de la variedad Colombia*

Muestra	L	a	b
1	74,29	20,75	70,2
2	80,1	10,86	71,1
3	82,26	7,04	70,51
4	80,9	16,82	63,82
5	82,4	11,52	66,81
Promedio	79,99	13,398	68,488
Entero	80	13	68

Figura 46

*Color de las coordenadas L*a*b* de la variedad Colombia.*



Tabla 26

*Valores de las coordenadas L*a*b* de la variedad Geisha*

Muestra	L	a	b
1	50,85	36,18	28,5
2	50,87	33,9	41,76
3	51,88	21,46	30,89
4	45,17	52,61	35,85
5	49,03	40,45	36,83
Promedio	49,56	36,92	34,766

Entero	50	37	35
--------	----	----	----

Figura 47

*Color de las coordenadas L*a*b* de la variedad Geisha*



Tabla 27

*Valores de las coordenadas L*a*b* de la variedad Típica*

Muestra	L	a	b
1	36,22	28,17	12,88
2	28,82	29,29	12,46
3	32,81	34,53	15,7
4	34,48	29,23	13,38
5	33,35	29,92	13,58
Promedio	33,136	30,228	13,6
Entero	33	30	14

Figura 48

*Color de las coordenadas L*a*b* de la variedad Típica*



Tabla 28

*Valores de las coordenadas $L^*a^*b^*$ de la variedad Catimor*

Muestra	L	a	b
1	40,23	31,01	20,06
2	35,29	41,92	20,57
3	37,29	48,21	31,05
4	36,47	37,95	18,49
5	38,39	35,16	17,74
Promedio	37,534	38,85	21,582
Entero	38	39	22

Figura 49

*Color de las coordenadas $L^*a^*b^*$ de la variedad Catimor.*



ANEXO 3

Estadísticos descriptivos medias de las variables
categóricas del estudio

Anexo 3 Estadísticos descriptivos medias de las variables categóricas de estudio.

Tabla 29

Polifenoles Totales

Tipo de solvente	Método extracción	Variedad de café	Fenoles totales (mg AG/g) por replica	Medias Equivalentes en Acido Gálico mg/g de extracto
Etanol 96°	Soxhlet	Catimor	269.4	277.1
			280.7	
			281.3	
		Colombia	156.345	155.1
			151.265	
			157.615	
		Geisha	62.595	64.9
			66.305	
			65.685	
		Típica	200.05	208.5
			215.685	
			209.82	
	Ultrasonido	Catimor	228.93	237.0
			234.795	
			247.185	
		Colombia	116	112.1
			108.565	
			111.66	
		Geisha	234.72	33.5
			242.125	
			255.71	
		Típica	34.18	244.2
			33.535	
			32.895	
	Maceración	Catimor	233.495	234.8
			242.62	
			228.28	
		Colombia	140.99	142.1
			139.05	
			146.16	
		Geisha	50.36	55.0
			54.33	
			60.28	
		Típica	284.725	277.3
			258.795	
			288.43	

Tabla 30*Atributos del diseño experimental para Polifenoles Totales*

Clase de diseño	Multi-factor categórico
Numero de factores experimentales	2
Numero de respuestas	1
Numero de corridas experimentales	36
Grados de libertad del error	24
Aleatorizado	si

Factores	Niveles	Unidades
Método	3	1=Soxhlet; 2=Ultrasonido; 3=Maceración
Variedad	4	1=Catimor; 2=Colombia; 3=Geisha; 4=Típica

Respuesta	Unidades
Polifenoles Totales	mg AG/g

Tabla 31*Medias ajustadas por mínimos cuadrados para Polifenoles Totales con intervalos de confianza del 95,0%*

Nivel	Conteo	Promedio	Error Stnd	Limite inferior	Limite superior
GRAND PROMEDIO	36	170.125			
Metodo de extracción					
1	12	176.392	2.18777	171.876	180.907

2	12	156.692	2.18777	152.176	161.207
3	12	177.293	2.18777	172.778	181.808

Variedad de café

1	9	249.627	2.52622	244.413	254.841
2	9	136.406	2.52622	131.192	141.619
3	9	51.1294	2.52622	45.9156	56.3433
4	9	243.34	2.52622	238.126	248.554

Método de extracción por

Variedad de café

1;1	3	277.112	4.37555	268.081	286.142
1;2	3	155.075	4.37555	146.044	164.106
1;3	3	64.8617	4.37555	55.831	73.8924
1;4	3	208.518	4.37555	199.488	217.549
2;1	3	236.97	4.37555	227.939	246.001
2;2	3	112.075	4.37555	103.044	121.106
2;3	3	33.5367	4.37555	24.506	42.5674
2;4	3	244.185	4.37555	235.154	253.216
3;1	3	234.798	4.37555	225.768	243.829
3;2	3	142.067	4.37555	133.036	151.097
3;3	3	54.99	4.37555	45.9593	64.0207
3;4	3	277.317	4.37555	268.286	286.347

Tabla 32*Estadísticos descriptivos para Polifenoles según Variedad de café – cajas y bigotes*

<i>Variedad de café</i>	<i>Conteo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación Estandar</i>	<i>Mínimo</i>
1	9	249.627	242.62	21.7256	228.28
2	9	136.406	140.99	19.3495	108.565
3	9	51.1294	54.33	14.1312	32.895
4	9	243.34	242.125	31.5751	200.05
Total	36	170.125	178.833	86.0474	32.895

<i>Variedad de café</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil superior</i>
1	281.305	53.025	233.495	269.355
2	157.615	49.05	116.0	151.265
3	66.305	33.41	34.18	62.595
4	288.43	88.38	215.685	258.795
Total	288.43	255.535	87.435	242.373

<i>Variedad de café</i>	<i>Rango intercuartílico</i>
1	35.86
2	35.265
3	28.415
4	43.11
Total	154.938

Tabla 33*Estadísticos descriptivos para Polifenoles según Método de extracción – cajas y bigotes*

<i>Método de extracción</i>	<i>Conteo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación Estándar</i>
1	12	176.392	178.833	81.1596
2	12	156.692	172.465	92.5407
3	12	177.293	187.22	90.0683
Total	36	170.125	178.833	86.0474

<i>Método de extracción</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Cuartil inferior</i>
1	62.595	281.305	218.71	108.785
2	32.895	255.71	222.815	71.3725
3	50.36	288.43	238.07	99.665
Total	32.895	288.43	255.535	87.435

<i>Método de extracción</i>	<i>Cuartil superior</i>	<i>Rango intercuartílico</i>
1	242.52	133.735
2	238.46	167.087
3	250.708	151.043
Total	242.373	154.938

ANEXO 4

Estadísticos descriptivos de medias para actividad
antioxidante.

Anexo 4 Estadísticos descriptivos de medias para actividad antioxidante.

Tabla 34

Actividad antioxidante

Método de extracción	Variedad de café	TEAC CI50 ug/g	Media TEAC CI50 ug/g	Media Trolox CI50 umol/gr Extr	Media % Inhb
Soxhlet	Catimor	64.2	63.1	0.252	49.7
		62.5			
		62.7			
	Colombia	100.2	97.5	0.389	32.7
		97.3			
		95.1			
	Geisha	282.1	277.9	1.11	11.3
		277.1			
		274.6			
	Típica	54.0	53.0	0.212	60
		52.4			
		52.8			
Ultrasonido	Catimor	58.3	59.8	0.239	52.9
		60.8			
		60.4			
	Colombia	86.5	86.8	0.347	36.7
		88.2			
		85.8			
	Geisha	256.5	259.9	1.039	12.3
		264.9			
		258.4			
	Típica	54.4	54.8	0.219	58.2
		54.9			
		54.9			
Maceracion	Catimor	62.6	61.8	0.247	51.3
		61.4			
		61.3			
	Colombia	102.2	99.9	0.399	31.8
		97.4			
		100.0			
	Geisha	223.0	230.9	0.922	13.7
		235.7			
		233.9			
	Típica	57.4	56.0	0.224	56.8
		55.9			
		54.8			

Tabla 35*Atributos del diseño experimental para la actividad antioxidante*

Clase de diseño	Multi-factor categórico
Numero de factores experimentales	2
Numero de respuestas	1
Numero de corridas experimentales	36
Grados de libertad del error	24
Aleatorizado	si

<i>Factores</i>	<i>Niveles</i>	<i>Unidades</i>
Método	3	1=Soxhlet; 2=Ultrasonido; 3=Maceracion
Variedad	4	1=Catimor; 2=Colombia; 3=Geisha; 4=Típica

<i>Respuesta</i>	<i>Unidades</i>
Rendimiento	% recuperación

Tabla 36*Medias ajustadas por mínimos cuadrados para la Actividad Antoxidante con intervalos de confianza del 95,0%*

<i>Nivel</i>	<i>Conteo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Error Stnd</i>	<i>Límite inferior</i>	<i>Límite superior</i>
GRAND PROMEDIO	36	116.791			
Método					

1	12	122.899	0.835323	121.175	124.623
2	12	115.34	0.835323	113.616	117.064
3	12	112.135	0.835323	110.411	113.859
Variedad					
1	9	61.5667	0.964548	59.5759	63.5574
2	9	94.7328	0.964548	92.742	96.7235
3	9	256.251	0.964548	254.26	258.241
4	9	54.6156	0.964548	52.6248	56.6063
Metodo por Variedad					
1;1	3	63.1067	1.67065	59.6586	66.5547
1;2	3	97.525	1.67065	94.0769	100.973
1;3	3	277.917	1.67065	274.469	281.365
1;4	3	53.0483	1.67065	49.6003	56.4964
2;1	3	59.8433	1.67065	56.3953	63.2914
2;2	3	86.7933	1.67065	83.3453	90.2414
2;3	3	259.948	1.67065	256.5	263.396
2;4	3	54.7733	1.67065	51.3253	58.2214
3;1	3	61.75	1.67065	58.3019	65.1981
3;2	3	99.88	1.67065	96.4319	103.328
3;3	3	230.887	1.67065	227.439	234.335
3;4	3	56.025	1.67065		

Tabla 37

Estadísticos descriptivos para Actividad Antioxidante según Método de extracción – cajas y bigotes

<i>Método de extracción</i>	<i>Conteo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación Estándar</i>
1	12	122.899	79.6175	95.0745
2	12	115.34	73.285	88.1477
3	12	112.135	80.0225	73.8101
Total	36	116.791	74.9525	83.7618

<i>Método de extracción</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Cuartil inferior</i>
1	52.41	282.06	229.65	58.215
2	54.43	264.94	210.51	56.6325
3	54.78	235.73	180.95	59.3675
Total	52.41	282.06	229.65	57.8825

<i>Método de extracción</i>	<i>Cuartil superior</i>	<i>Rango intercuartílico</i>
1	187.363	129.148
2	172.308	115.675
3	162.605	103.237
Total	162.605	104.722

Tabla 38*Estadísticos descriptivos para Actividad Antioxidante según Variedades de café – cajas y bigotes*

<i>Variedad de café</i>	<i>Conteo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación</i>	<i>Mínimo</i>
				<i>Estándar</i>	
1	9	61.5667	61.36	1.67508	58.32
2	9	94.7328	97.325	6.31614	85.755
3	9	256.251	258.445	21.0404	223.045
4	9	54.6156	54.78	1.52176	52.41
Total	36	116.791	74.9525	83.7618	52.41

<i>Variedad de café</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil superior</i>
1	64.15	5.83	60.815	62.6
2	102.165	16.41	88.155	100.03
3	282.06	59.015	235.73	274.56
4	57.445	5.035	53.975	54.945
Total	282.06	229.65	57.8825	162.605

<i>Variedad de café</i>	<i>Rango intercuartílico</i>
1	1.785
2	11.875
3	38.83
4	0.97
Total	104.722

ANEXO 5

Estadísticos descriptivos de medias para rendimiento
extractivo.

Anexo 5 Estadísticos descriptivos de medias para rendimiento extractivo.

Tabla 39

Rendimiento de extracción o capacidad de extracción

Muestra	Tipo de solvente	Método de extracción	Variedad de café	Replicas	Promedio extracto final (ml)	Rendimiento del extracto %
Pulpa del cerezo de café seco pulverizado 12mm	Etanol 96°	Soxhlet	Catimor	38,818	36,641	37%
				35,138		
				35,967		
			Colombia	36,851	36,493	36%
				36,498		
				36,129		
			Geisha	36,931	36,884	37%
				37,019		
				36,702		
			Típica	28,829	28,719	29%
				28,262		
				29,066		
		Ultrasonido	Catimor	7,615	7,966	8%
				8,605		
				7,677		
			Colombia	11,592	11,466	11%
				11,998		
				10,807		
			Geisha	8,609	8,302	8%
				7,744		
				8,554		
			Típica	5,702	5,541	6%
				6,207		
				4,714		
		Maceración	Catimor	13,827	13,807	14%
				13,72		
				13,874		
			Colombia	13,527	13,070	13%
				12,572		
				13,111		
			Geisha	10,989	10,904	11%
				11,098		
				10,624		
			Típica	8,703	8,869	9%
				9,595		
				8,308		

Tabla 40*Atributos del diseño experimental para el rendimiento de extracción*

Clase de diseño	Multi-factor categórico
Numero de factores experimentales	2
Numero de respuestas	1
Numero de corridas experimentales	36
Grados de libertad del error	24
Aleatorizado	si

Factores	Niveles	Unidades
Método	3	1=Soxhlet; 2=Ultrasonido; 3=Maceracion
Variedad	4	1=Catimor; 2=Colombia; 3=Geisha; 4=Típica

Respuesta	Unidades
Rendimiento	% recuperación

Tabla 41*Medias ajustadas por mínimos cuadrados para el rendimiento con intervalos de confianza del 95,0%*

Nivel	Conteo	Promedio	Error Stnd	Límite inferior	Límite superior
GRAND PROMEDIO	36	18.2217			
Método					

1	12	34.6842	0.208688	34.2535	35.1149
2	12	8.31867	0.208688	7.88796	8.74938
3	12	11.6623	0.208688	11.2316	12.093
Variedad					
1	9	19.4712	0.240972	18.9739	19.9686
2	9	20.3428	0.240972	19.8454	20.8401
3	9	18.6967	0.240972	18.1993	19.194
4	9	14.3762	0.240972	13.8789	14.8736
Metodo por Variedad					
1;1	3	36.641	0.417375	35.7796	37.5024
1;2	3	36.4927	0.417375	35.6312	37.3541
1;3	3	36.884	0.417375	36.0226	37.7454
1;4	3	28.719	0.417375	27.8576	29.5804
2;1	3	7.96567	0.417375	7.10424	8.82709
2;2	3	11.4657	0.417375	10.6042	12.3271
2;3	3	8.30233	0.417375	7.44091	9.16376
2;4	3	5.541	0.417375	4.67958	6.40242
3;1	3	13.807	0.417375	12.9456	14.6684
3;2	3	13.07	0.417375	12.2086	13.9314
3;3	3	10.9037	0.417375	10.0422	11.7651
3;4	3	8.86867	0.417375	8.00724	9.73009

Tabla 42*Estadísticos descriptivos para Rendimiento según Método de extracción – cajas y bigotes*

<i>Método</i>	<i>Conteo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Estándar</i>						
1	12	34.6842	36.3135	3.70105	28.262	38.818
2	12	8.31867	8.149	2.26038	4.714	11.998
3	12	11.6623	11.835	2.05266	8.308	13.874
Total	36	18.2217	12.285	12.1873	4.714	38.818

<i>Método</i>	<i>Rango</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil superior</i>	<i>Rango intercuartílico</i>
1	10.556	32.102	36.891	4.789
2	7.284	6.911	9.708	2.797
3	5.566	10.1095	13.6235	3.514
Total	34.104	8.607	32.102	23.495

Tabla 43*Estadísticos descriptivos para Rendimiento según Variedad de café– cajas y bigotes*

<i>Variedad</i>	<i>Conteo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desviación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>Estandar</i>						
1	9	19.4712	13.827	13.1618	7.615	38.818
2	9	20.3428	13.111	12.1398	10.807	36.851
3	9	18.6967	10.989	13.6899	7.744	37.019
4	9	14.3762	8.703	10.8668	4.714	29.066

Total	36	18.2217	12.285	12.1873	4.714	38.818
<i>Variedad</i>	<i>Rango</i>	<i>Cuartil inferior</i>	<i>Cuartil superior</i>	<i>Rango intercuartílico</i>		
1	31.203	8.605	35.138	26.533		
2	26.044	11.998	36.129	24.131		
3	29.275	8.609	36.702	28.093		
4	24.352	6.207	28.262	22.055		
Total	34.104	8.607	32.102	23.495		

ANEXO 6

Panel Fotográfico de la parte experimental de la
investigación

Anexo 6 *Panel Fotográfico de la parte experimental de la investigación*

Foto 1

Desperdicio de pulpa del cerezo de café con alto valor bioactivo



Foto 2

Cosecha selectiva de las diferentes variedades de café arábica



Foto 3

Lavado de los cerezos de café y cargado a la tolva



Foto 4

Recepción de pulpa del cerezo de café



Foto 5

Pesado de la muestra de café, variedad Típica



Foto 6

Pesado de la muestra de café, variedad Colombia.



Foto 7

Secado de pulpa del cerezo de C. arábica (MEMMERT 160 Plus)



Foto 8

Pulverizado de la pulpa del cerezo de café



Foto 9

Refinado de la molienda



Foto 10

Pulpa del cerezo de café seca y pulverizada de las variedades.



Foto 11

Extracción por Soxhlet



Foto 12

Extracción por Maceración con agitación mecánica



Foto 13

Extracción asistida por Ultrasonido



Foto 14

Centrifugadora con cámara refrigerada (MPW 352R)



Foto 15

Pipeteado de extractos en tubos falcón

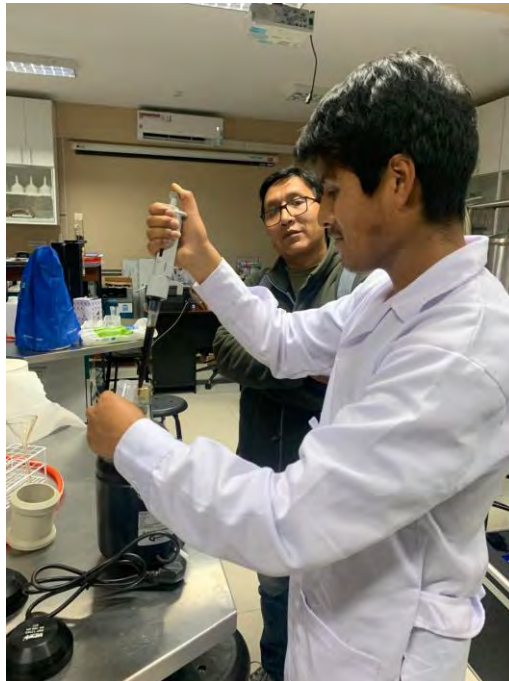


Foto 16

Carga de los tubos falcón a la centrifugadora MPW-352R



Foto 17

Colectado de sobrenadantes en frascos BOE de 500 ml

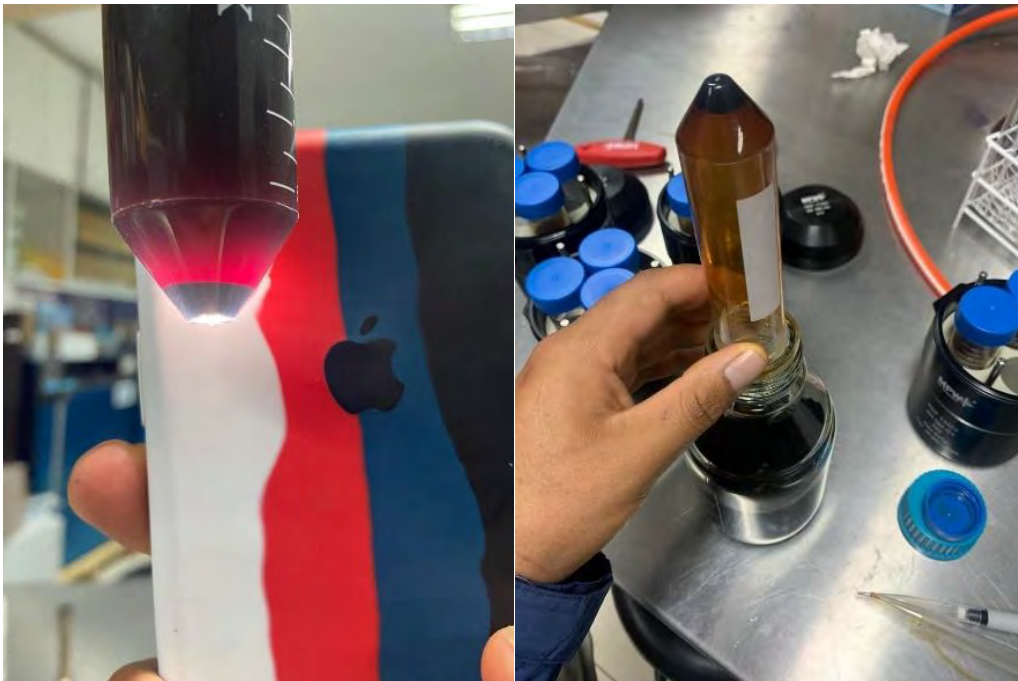


Foto 18

Filtrado de las 12 muestras de extracto de café arábica



Foto 19

Envasado de las muestras en frascos BOE de 500 ml por replica.



Foto 20

Refrigeración de muestras (Samsung RS28A5F61SR)

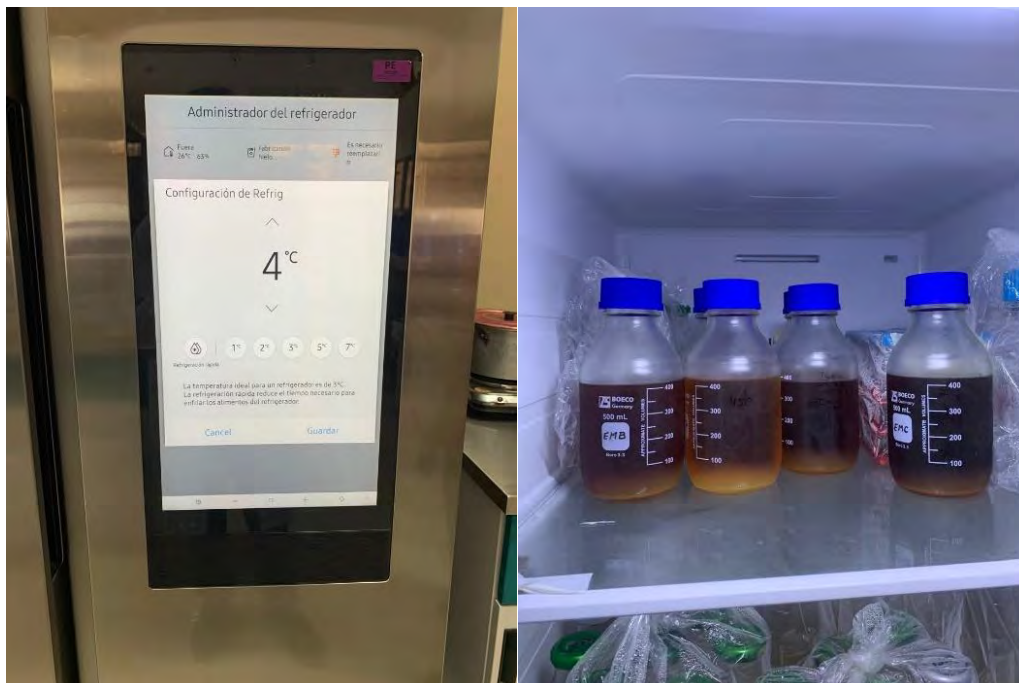


Foto 21

Concentración de los extractos en rotavapor BUCHI R-215



Foto 22

Final de separación del solvente de la muestra



Foto 23

Desecado de muestras en estufa con recirculación de aire forzado



Foto 24

Extractos desecados libre de solvente



Foto 25

Pesado y almacenamiento en congelación de las muestras

