



Evaluación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango en Ecuador

Alvarez Granizo Cristina Salomé

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

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

Raluca Alexandra Mihai, Ph.D.

4 de agosto de 2026

**Informe de análisis**

Compilatio Magister+ | ESPE-ECU

Tesis_ALVAREZ-13-74

ID : cfc6868ac02d2406e0a44d4ce8031feda7e9a165

**1%****Textos sospechosos**

Nombre del fichero : Tesis_ALVAREZ-13-74.txt

Tamaño del archivo original : 717,68 kB

Número de palabras : 16.814

Depositante : RALUCA ALEXANDRA MIHAI

Fecha de depósito : 24 de julio de 2026

Tipo de carga : interface

fecha de fin de análisis : 24 de julio de 2026

Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

**Similitudes****<1%**

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

**Detección de IA****1%**

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

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

**Ph.D. Mihai, Raluca Alexandra****Directora****C.C.: 1757487507**



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Evaluación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango en Ecuador”** fue realizado por la señorita **Alvarez Granizo Cristina Salomé**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; habiéndose efectuado una revisión integral de forma y de fondo conforme a los lineamientos y formatos institucionales vigentes. Además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de agosto de 2026

Ph.D. Mihai, Raluca Alexandra

Directora

C.C.: 1757487507



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Alvarez Granizo Cristina Salomé**, con cédula de ciudadanía n° **0550188890**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Evaluación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango en Ecuador”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 24 de agosto de 2026



Alvarez Granizo, Cristina Salomé

C.C.: 0550188890



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Biotecnología

Autorización de Publicación

Yo **Alvarez Granizo Cristina Salomé**, con cédula de ciudadanía n° **0550188890**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Evaluación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango en Ecuador”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 24 de agosto de 2026



Validar Únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**CRISTINA SALOME
ALVAREZ GRANIZO**

Alvarez Granizo, Cristina Salomé

C.C.: 0550188890

Dedicatoria

Dedico este trabajo, a mi familia: a mis padres, hermanos, abuelitos, tíos y primos, quienes han sido el pilar más importante de mi vida y han caminado a mi lado en cada etapa de este recorrido.

Este logro representa también una parte de ustedes, porque cada uno ha aportado su granito de arena para que hoy pueda llegar hasta aquí. Su cariño, apoyo constante y confianza en mí han sido fundamentales en mi crecimiento personal y profesional, impulsándome a superar cada desafío y a perseguir mis metas con perseverancia.

También de manera especial, le dedico este trabajo a Mateo que ha sido mi compañero incondicional en esta etapa de mi vida, sus palabras de amor y cariño, siempre estuvieron en esta travesía.

Con todo mi cariño y profunda gratitud, les dedico este trabajo como símbolo del inmenso amor que les tengo y de la huella que han dejado en cada uno de mis sueños y logros alcanzados.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres Marcelo y Rosi, por todos los esfuerzos y

sacrificios que han hecho por mí a lo largo de mi formación. A mis hermanos Camila y Alejandro, por su apoyo incondicional que me ha impulsado a seguir alcanzando mis metas.

A mis tíos, Jorge y Lorena, les expreso mi más profunda gratitud por haberme abierto las puertas de su hogar, gracias por acogerme con tanto amor, brindándome un lugar donde crecer y estudiar, también a Valentina e Ismael con quienes compartí en esta etapa, gracias por su compañía. Sin ustedes, este sueño habría sido mucho más difícil de alcanzar.

A Mateo Sánchez, quien fue mi mejor amigo y compañero en este recorrido, por su amor, paciencia y apoyo incondicional. Gracias por acompañarme en cada desafío, celebrar conmigo cada logro y sostenerme en los momentos difíciles. De igual manera, agradezco a Alexandra Jaramillo, por recibirme siempre con tanto cariño en su hogar, hacerme sentir bienvenida y parte de la familia.

A Joe Peña, mi gran amigo, por su amistad sincera, por su apoyo constante en este recorrido y a mis amigos que hice durante mi época universitaria Xavier, Anahí, Flor, Andrés, David e Isa. gracias por todos los momentos compartidos, por las risas y el aprendizaje, cada uno dejó una huella especial en mi vida y en esta etapa que hoy culmina con tanta satisfacción.

Finalmente, agradezco a la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE por la formación académica brindada y a Ph.D Raluca Mihai por el apoyo y las facilidades proporcionadas para el desarrollo de este trabajo.

Índice de contenidos

Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
Resumen	13
Abstract	14
Capítulo I	15
Introducción	15
Planteamiento del problema	16
Situación actual de los residuos orgánicos en Ecuador	16
Consecuencias de la disposición inadecuada	17
Residuos de mango y maracuyá	17
Formulación del problema o pregunta de investigación	18
Objetivos	18
Justificación	19
Capítulo II	21
Estado del arte	21
Aprovechamiento de residuos agroindustriales	21
Análisis de subproductos de mango (<i>Mangifera indica</i>)	21
Análisis de subproductos de maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>)	24
Marco teórico	25

Residuos agroindustriales	25
Concepto de residuos agroindustriales	25
Residuos agroindustriales de maracuyá (<i>Passiflora edulis</i>)	27
Residuos agroindustriales de mango (<i>Mangifera indica</i>)	30
Compuestos fenólicos.....	32
Flavonoides	34
Métodos de determinación de compuestos bioactivos	36
Marco conceptual.....	40
Residuos agroindustriales.....	40
Compuestos fenólicos.....	41
Flavonoides	41
Capacidad antioxidante	42
Relación entre variables	42
Factores de variación.....	43
Capítulo III.....	44
Metodología	44
Enfoque y diseño de la investigación.	44
Recolección del material vegetal	44
Obtención de los extractos.	45
Determinación del contenido de compuesto fenólicos totales.	45
Determinación del contenido de concentración de flavonoides.....	46
Determinación de la actividad antioxidante.	47
Análisis estadístico.....	47
Capítulo IV	49
Análisis de resultados.....	49
Curvas de calibración.....	50

Contenido de compuestos fenólicos totales	52
Contenido total de flavonoides	53
Capacidad antioxidante mediante DPPH	55
Verificación de supuestos estadístico	57
Comparación estadística cáscara- semilla ANOVA, Welch.....	60
Comparación global entre las seis muestras	61
Discusión.....	65
Contenido de compuestos fenólicos totales	65
Análisis de Flavonoides	66
Evaluación de la capacidad antioxidante	68
Correlación entre fenoles, flavonoides y actividad antioxidante.	69
Capítulo V	71
Conclusiones.....	71
Recomendaciones	72
Referencias	73

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Contenido de compuesto fenólicos totales en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	52
Tabla 2 <i>Contenido total de flavonoides en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	54
Tabla 3 <i>Capacidad antioxidante en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	56
Tabla 4 <i>Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante (DPPH).</i>	58
Tabla 5 <i>Resultados de la prueba de homogeneidad de varianza de Levene para los compuestos fenólicos totales, flavonoides y antioxidantes.</i>	59
Tabla 6 <i>Comparación del contenido de compuestos fenólicos totales entre cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	60
Tabla 7 <i>Comparación del total de flavonoides entre cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	60
Tabla 8 <i>Comparación de la actividad antioxidante entre cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	61
Tabla 9 <i>La prueba de Kruskal–Wallis para poder comparar todos los métodos dentro del ensayo.</i>	62
Tabla 10 <i>Prueba de comparaciones múltiples de Dunn con ajuste de Bonferroni para el contenido de fenoles totales.</i>	63
Tabla 11 <i>Prueba de comparaciones múltiples de Dunn con ajuste de Bonferroni para el contenido de flavonoides.</i>	63
Tabla 12 <i>Prueba de comparaciones múltiples de Dunn con ajuste de Bonferroni para el contenido de antioxidantes (DPPH)</i>	64
Tabla 13 <i>Tabla de correlación de variables Spearman</i>	65

Índice de figuras

Figura 1 <i>Estructura química del fenol.</i>	32
Figura 2 <i>Estructura básica de un flavonoide</i>	35
Figura 3 <i>Reacción de Folin</i>	38
Figura 4 <i>Reacción de DPPH</i>	39
Figura 5 <i>Reacción de flavonoides con cloruro de aluminio</i>	40
Figura 6 <i>Curva de calibración de ácido gálico para la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales mediante el método de Folin-Ciocalteu.</i>	50
Figura 7 <i>Curva de calibración de quercetina para la determinación de flavonoides.</i>	51
Figura 8 <i>Curva de calibración de Trolox para la determinación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH.</i>	51
Figura 9 <i>Contenido de compuesto fenólicos totales en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	53
Figura 10 <i>Contenido total de flavonoides en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	55
Figura 11 <i>Capacidad antioxidante en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.</i>	57

Resumen

Los residuos agroindustriales generados durante el procesamiento de frutas representan una fuente potencial de compuestos bioactivos con aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. El objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante en residuos agroindustriales (cáscara y semilla) de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) y mango (*Mangifera indica* L., variedad Tommy Atkins) en estado verde y maduro. Se empleó un enfoque cuantitativo, de diseño experimental y alcance comparativo. Los compuestos fenólicos totales se determinaron mediante el método de Folin-Ciocalteu, los flavonoides por el método de cloruro de aluminio y la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH. Los datos fueron analizados mediante RStudio utilizando estadística descriptiva, pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza, pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis con comparaciones múltiples de Dunn, y por último, correlaciones de Spearman. Los resultados demostraron diferencias significativas entre las muestras evaluadas ($p < 0.05$). La semilla de mango maduro presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos, mientras la cáscara de mango verde registró mayores valores de flavonoides y capacidad antioxidante. Se encontraron correlaciones positivas y significativas entre las variables evaluadas, principalmente en el contenido de flavonoides y la capacidad antioxidante. Se concluye que los residuos agroindustriales de maracuyá y mango constituyen a una fuente importante de compuestos bioactivos con potencial para su aprovechamiento y economía circular.

Palabras clave: residuos agroindustriales, compuestos fenólicos, flavonoides, capacidad antioxidante, economía circular.

Abstract

Agro-industrial residues generated during fruit processing represent a potential source of bioactive compounds with applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. The aim of this study was to evaluate the content of phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant capacity in agro-industrial residues (peel and seed) of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) and mango (*Mangifera indica* L., Tommy Atkins cultivar) at green and ripe stage. A quantitative approach with an experimental and comparative design was employed. Total phenolic compounds were determined using the Folin Ciocalteu method, flavonoids by the aluminum chloride method, and antioxidant capacity by the DPPH assay. Data were analyzed in RStudio using descriptive statistics, normality and homogeneity of variance tests, the Kruskal–Wallis non-parametric test with Dunn's multiple comparisons, and Spearman correlation analysis. Significant differences were found among the evaluated samples ($p < 0.05$). Ripe mango seeds showed the highest phenolic compound content, whereas green mango peels exhibited the highest flavonoid content and antioxidant capacity. Positive and significant correlations were also observed among the evaluated, particularly between flavonoid content and antioxidant capacity. It is concluded that passion fruit and mango agro-industrial residues are an important source of bioactive compounds with potential application in the development of value-added products and as a sustainable alternative within the circular economy.

Keywords: agro-industrial residues, phenolic compounds, flavonoids, antioxidant capacity, circular economy.

Capítulo I

Introducción

La generación de residuos agroindustriales es una de las principales problemáticas ambientales. Aunque son residuos de origen natural, su inadecuada disposición, llega a generar problemas ambientales y sociales, debido a la generación de lixiviados que afectan a cuerpos de agua, emanación de malos olores debido a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, emisión de CO₂, y el aumento de vectores como ratas e insectos (Alcantara, *et al.*, 2022).

En la actualidad, aún existen grandes cantidades de subproductos como cáscara, semilla, pulpa y restos fibrosos que son desechados diariamente por las industrias alimentarias, sin considerar su alto valor en compuestos bioactivos y su potencial aplicación en diferentes sectores industriales (Neyra, 2025).

Entre los residuos agroindustriales de mayor volumen en Ecuador destacan subproductos derivados del mango (*Mangifera indica* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*), cuya producción genera una cantidad significativa de biomasa residual que suele descartarse sin considerar su potencial aprovechamiento (Teneda, 2018). Sin embargo, investigaciones recientes han evidenciado que estos residuos poseen metabolitos secundarios bioactivos, especialmente compuestos fenólicos y flavonoides, evidenciando su gran capacidad antioxidante. No obstante, en Ecuador aún existe limitada información científica relacionada con la caracterización fitoquímica y antioxidantes de residuos agroindustriales provenientes de mango y maracuyá, especialmente enfocados en la semilla y cáscara.

Bajo esta premisa, la presente investigación evalúa el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante en cáscaras y semillas de maracuyá y mango en Ecuador a través de un enfoque experimental mediante la elaboración de extractos etanólicos, que serán sometidos a análisis espectrofotométricos, entre ellos el método de Folin-Ciocalteu para determinación de fenoles totales, el ensayo de cloruro de aluminio para

flavonoides y protocolo de DPPH para evaluar la actividad antioxidante de los extractos obtenidos.

El presente trabajo de integración curricular se encuentra estructurado en cinco capítulos. El primer capítulo aborda el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos de la investigación. El segundo capítulo desarrolla el marco teórico relacionado con residuos agroindustriales, compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante. El tercer capítulo describe la metodología empleada para la obtención y análisis de las muestras. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos, y su discusión científica. Finalmente, en el quinto capítulo expone las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

Planteamiento del problema

A nivel mundial, el incremento de residuos agroindustriales derivados del procesamiento de frutas representa un desafío para los sistemas de gestión ambiental. Al no tener un adecuado tratamiento, estos residuos se convierten en fuentes de contaminación y riesgo sanitario (Alcantara, *et al.*, 2022).

En Ecuador, la industria agroalimentaria genera grandes volúmenes de residuos orgánicos derivados del procesamiento de frutas tropicales, entre ellos mango (*Mangifera indica* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*) (Arroyo Dávila, 2020). Durante la etapa de industrialización y comercialización de estas frutas se produce un alto volumen de subproductos (semilla y cáscara) que, en la mayoría de los casos son eliminados en vertederos o dispuestos inadecuadamente, sin considerar su potencial para la obtención de compuestos bioactivos (Cabrera, *et al.*, 2022).

Situación actual de los residuos orgánicos en Ecuador

La gestión de residuos sólidos urbanos sigue siendo una problemática crítica en el país. Actualmente, una de las práctica más utilizada para la disposición final de estos desechos son los rellenos sanitarios (Morales, 2021), lo que genera un grave impacto ambiental debido a la infiltración de lixiviados. Además, ciertos estudios reportan entre el 60% y el 67% de los

residuos son destinados a los botadores de cielo abierto, incrementando los riesgos de contaminación ambiental y afectando diversos ecosistemas (Cevallos & Ramirez, 2023). Sugiriendo que se está desperdiciando una gran oportunidad para el aprovechamiento de biomasa como cáscaras y semillas de frutas.

Consecuencias de la disposición inadecuada.

La acumulación de residuos orgánicos en sitios de disposición final sin control técnico genera problemas ambientales y sanitarios. El flujo de lixiviados que se generan durante la descomposición de la materia orgánica, provoca la contaminación de suelo y cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos (Cevallos & Ramirez, 2023). Además, de liberar gases de efecto invernadero, un ejemplo claro es en la provincia de Guayas, donde se midió una tasa de emisión metano de $858.8 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, donde los investigadores calificaron el impacto ambiental como crítico, con un índice global de 53.3 (Gavilanez *et al.*, 2024) Por otro lado, la descomposición de estos residuos atrae roedores, insectos, aves, aumentando el riesgo de transmisión de enfermedades (Alcantara, *et al.*, 2022). Comunidades que viven a los alrededores de estos botaderos han reportado problemas respiratorios, daños de cultivos, ganado y contaminación de agua (Carrillo, 2024).

Residuos de mango y maracuyá

Aunque la presencia de bioactivos en desechos frutales es un campo consolidado internacionalmente, en el contexto ecuatoriano la caracterización de los residuos de mango y maracuyá han recibido una atención limitada. Los trabajos que se han hecho en el país se centran principalmente en otras frutas, como el babaco o la piña (Vásquez & Sáenz, 2020). También existen estudios sobre el impacto ambiental de los rellenos sanitarios, pero no profundizan en como se podría aprovechar los residuos orgánicos (Gavilanez *et al.*, 2024). Incluso investigaciones sobre lixiviados y emisiones de gases, pero no abordan el potencial de los compuestos bioactivos presentes en cáscaras y semillas (Cevallos & Ramirez, 2023).

A pesar de que existe estudios internacionales que reportan el contenido fitoquímico en subproductos de mango y maracuyá, en Ecuador la literatura sobre este tema es escasa. No se tiene investigaciones locales que evalúen de manera comparativa los compuestos fenólicos (mediante Folin- Ciocalteu), flavonoides (Cloruro de Aluminio) y actividad antioxidante (DPPH) en cáscaras y semillas de frutas cultivadas en el país. Lo que impide precisar el potencial real de la biomasa residual ecuatoriana, limitando el desarrollo de estrategias de aprovechamiento de estos compuestos bioactivos.

Formulación del problema o pregunta de investigación

¿Cuál es el potencial fitoquímico y antioxidante de residuos agroindustriales (semillas y cáscara) de mango (*Mangifera indica L.*) y maracuyá (*Passiflora edulis*) en Ecuador, mediante la cuantificación de compuestos fenólicos y flavonoides con el fin de proyectar su aplicación como fuente natural de moléculas bioactivas?

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango en Ecuador

Objetivos específicos:

- Determinar la concentración de compuestos fenólicos totales, con el método Folin Ciocalteu, en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango
- Analizar la concentración de flavonoides, con el método de Cloruro de Aluminio, en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango
- Evaluar el carácter antioxidante en residuos agroindustriales (semilla y cascara) de maracuyá y mango, a través del método DPPH.

Justificación

El estudio de residuos agroindustriales derivados de mango (*Mangifera indica* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*) representa una oportunidad de generar conocimiento científico relacionado con el potencial fitoquímico y antioxidante presente en semillas y cáscaras de estas frutas tropicales (Martínez, 2016).

A nivel mundial se estima que el procesamiento de frutas genera entre el 30-50 % de residuos (Argun & Argun, 2025) . En Ecuador, la producción de estas frutas alcanza volúmenes significativos. Por un lado, la producción de mango en el país alcanzó 15.5 millones de cajas en 2024, un año de sobreproducción según Malo (2025), presidente de la Fundación del Mango. Por otro lado, la producción de maracuyá, de acuerdo con cifras oficiales del Ministerio de Agricultura y Ganadería, se situó en 65,195 toneladas en 2022. Considerando el porcentaje de residuos generados durante el procesamiento, se estima que la biomasa residual derivada de ambas frutas representa una fuente abundante y no aprovechada para la obtención de compuestos bioactivos.

La presente investigación permitirá fortalecer la información científica sobre los compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante en biomasa residual en Ecuador. Los resultados obtenidos podrán servir como base para futuras investigaciones enfocados a la recuperación de compuestos bioactivos en residuos agroindustriales, promoviendo alternativas orientadas a la valorización de subproductos orgánicos y el desarrollo de bioproductos de alto valor. Dicho abordaje favorece la creación de estrategias vinculadas al aprovechamiento sostenible y desarrollo de modelos de economía circular (Argun & Argun, 2025).

Desde una perspectiva ambiental y social, este trabajo impulsa el manejo responsable de residuos orgánicos derivados del sector agroindustrial, promoviendo la valorización de estos subproductos. Por ello, la investigación se relaciona con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 (Producción y Consumo Responsable), enfocado en la gestión sostenible de recursos y reducción de residuos (ODS, 2023). Finalmente, el desarrollo de este estudio fortalece el

interés científico y académico por la explotación biotecnológica a los desechos agroindustriales locales, incentivando a la sostenibilidad (Lingaraju, *et al.*, 2025).

Capítulo II

Estado del arte

Aprovechamiento de residuos agroindustriales

La actual preocupación por el medio ambiente impulsa el desarrollo de tecnologías sostenibles enfocadas en el aprovechamiento de la biomasa residual agroindustrial. Durante décadas, el proceso industrial de distintas frutas generó grandes volúmenes de subproductos (cáscara, semilla, bagazos) que solían ser descartados inadecuadamente, causando una problemática ambiental. Sin embargo, la literatura científica evidencia que estas fracciones residuales contienen compuestos bioactivos iguales o superiores a la pulpa consumida (Rivera, 2020; Salvatore *et al.*, 2022; Neyra, 2025). Estos hallazgos, impulsan el concepto de “valorización de residuos” dentro de marco de economía circular, modelo en el cual estos subproductos se transforman en materia prima de alto valor para otras industrias farmacéutica, cosmética, nutracéutica y alimentaria.

Análisis de subproductos de mango (*Mangifera indica*).

Diversas investigaciones coinciden en que los residuos agroindustriales de mango, principalmente cáscara y semilla, son fuentes relevantes de compuestos bioactivos. Esto se debe a que el mango genera entre el 35% y 60% de subproductos, los cuales contienen fibra, polifenoles, vitaminas, carotenoides, lípidos y almidones con potencial alimenticio, nutracéutico y productos relacionados con economía circular.

Los estudios muestran que la concentración de los compuestos fenólicos totales, varía de forma importante, según la variedad, tipo de residuo, y el método de extracción. Reyna *et al.*, (2026) analizó cáscara y semilla de cuatro cultivares ecuatorianos de mango (Chico y grande, Miguelillo, Manga y Mantequilla) a partir de una extracción hidroalcohólica asistida por ultrasonidos y determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. Sus resultados reportados fueron 2562,35 y 6304,35 mg GAE/100 g en cáscaras, y entre 212,69 y 3006,48 mg GAE/100 g en semillas de fenoles totales, evidenciando que la cuantificación entre

semilla y cáscara es variada. Documentando que en el análisis de residuos de mango en Ecuador no debe generalizarse, sino evaluarse por fracción.

Salvatore *et al.*, 2022 comparó distintos componentes del mango en los cultivares Tommy Atkins y Keitt. A diferencia de los hallazgos reportados enfocados en variedades ecuatorianas, los investigadores determinaron que las semillas obtenían mayor cantidad de fenoles, flavonoides y taninos condensados, superando a la cáscara y la pulpa. En el caso de los flavonoides analizados (mediante método de cloruro de aluminio), los valores máximos se registraron en las semillas, con un rango de 2110 a 2204 mg CE·100 g⁻¹ de peso seco, mientras que las cáscaras presentaron valores entre 480 a 504 mg CE·100 g⁻¹ de peso seco. Esta comparación permite identificar una tendencia importante, aunque la cáscara suele ser rica en compuestos fenólicos, la semilla puede contener metabolitos secundarios de mayor peso molecular.

Desde un punto de vista metodológico, los estudios emplean distintos enfoques para la extracción y cuantificación. Dicho estudio utilizó metanol al 80% y aplicó el método colorimétrico AlCl₃, expresando los resultados CE para los flavonoides. A diferencia de Reyna *et al.*, (2026), usaron extracción hidroalcohólica (etanol al 80 %) asistida por un ultrasonido, Folin-Ciocalteu para fenoles totales, HPLC-ESI-QTOF para el perfil fenólico y DPPH/ABTS para la capacidad antioxidante. Esto demuestra que los resultados pueden variar no solo por la materia prima sino también por solventes, técnica de extracción, tiempo, temperatura y método analítico.

Con respecto a la capacidad antioxidante, la literatura evidencia que el DPPH es ampliamente utilizado para evaluar el potencial captador de radicales libres en los subproductos del mango. Reyna *et al.*, (2026) reportó valores de actividad antioxidante en cultivares ecuatorianos que variaban según la variedad, en cáscaras, los valores oscilaron entre 221,97 y 456,31 mg Trolox/100 g, siendo Chico y Grande la que presentó el valor más alto 456,31 mg Trolox/100 g. Mientras que, en semillas, los valores fluctuaron entre 43,71 y

530,46 mg Trolox/100 g, con la variedad Miguelito alcanzando el máximo valor. Esto demuestra que la actividad no depende solo del residuo, sino de la variedad, composición química y tipo de compuesto fenólico.

Por otra parte, El-Sayed *et al.*, (2025) se enfocaron en extractos de cáscara de mango con diferentes solventes y determinó que el extracto de acetato de etilo presentó un perfil fitoquímico más amplio (taninos, flavonoides, fenoles, esteroides, terpenoides y alcaloides). Este extracto mostró actividad antioxidante creciente con la concentración, alcanzando el 89,27% de inhibición del radical DPPH a 60 µg/mL y un IC₅₀ de 10,426 µg/mL. Si bien este estudio difiere en el solvente que se usará en este trabajo de investigación, sus resultados evidencian la capacidad antioxidante de los residuos de mango es altamente sensible al solvente y al método de extracción.

Es de importancia recalcar que la relación entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante no siempre es lineal. Reyna *et al.*, (2026) señala que esta relación no siempre se cumple, ya que influye la composición cualitativa de los extractos. En su investigación predominan los compuestos galoilados detectados por HPLC-ESI-QTOF. Por ello, en la interpretación de resultados no solo se centrará en que muestra tiene más fenoles, sino discutir si estos están relacionados con la actividad antioxidante por DPPH.

Lebaka, *et al.*, (2021) compiló información sobre la composición nutricional y fitoquímica de las tres partes del mango (pulpa, cáscara y semilla). Identificando concentraciones de mangiferina (hasta 1694 mg/100 g), quercetina (6,5 mg/100 g) y ácido gálico (hasta 838 mg/100 g) en cáscara, mientras en semilla el contenido en taninos (20,7 mg/100 g) y flavonoides (hasta 75,35 mg equivalentes de catequina/100 g), confirmando que el mango posee un alto potencial como fuente de compuestos fenólicos, flavonoides y antioxidantes naturales.

Análisis de subproductos de maracuyá (*Passiflora edulis*).

Los residuos agroindustriales derivados de la industrialización de maracuyá han adquirido un interés fitoquímico, puesto que, en plantas procesadoras de jugos y pulpas, se generan un gran volumen de cáscaras y semillas. Domínguez, *et al.*, (2019) mencionan que, en especies como *Passiflora*, entre el 65% y 70% del fruto puede llegar a ser residuo, lo que los convierte en objeto de investigación para la obtención de compuestos bioactivos. Por lo que este estudio se alinea directamente con el objetivo central de este trabajo de integración curricular, que es evaluar subproductos normalmente descartados como fuentes potenciales de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante.

En Ecuador Vasco *et al.*, (2008) analizaron diecisiete frutas cultivadas y consumidas en el país, entre ellas es la maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*), mediante el Folin-Ciocalteu para fenoles totales y DPPH, ABTS y FRAP para la capacidad antioxidante. Dentro del estudio la maracuyá fue clasificada con bajo contenido fenólico, reportando 61 ± 32 mg GAE/100 g de muestra fresca, y presentó una baja actividad antirradical por DPPH, cabe señalar que este trabajo evaluó principalmente la pulpa. A diferencia de Vasco *et al.*, (2008), Domínguez, *et al.*, (2019) estudiaron cuatro especies de *Passiflora*, incluyendo *P. edulis* y *P. edulis flavicarpa*, empleando agua caliente a presión (PHWE), la cual es considerada sostenible a comparación de otros métodos convencionales de extracción sólido-líquido. Determinando así fenoles totales mediante Folin-Ciocalteu, capacidad antioxidante mediante DPPH y TEAC, y HPLC-DAD-QTOF/MS para caracterizar el perfil fenólico. Obteniendo como resultados para *P. edulis* $24,96 \pm 2,00$ mg GAE/g de extracto seco y una elevada actividad antioxidante por DPPH ($EC_{50} = 32,93 \pm 2,88$ µg/mL), mientras que para *P. edulis flavicarpa*, sus resultados no fueron tan elevados. De esta forma se evidencia que la capacidad antioxidante de cáscaras de *Passiflora* depende fuertemente de la especie, la variedad y el perfil químico del extracto.

En cuanto a la composición fenólica en residuos de *Passiflora edulis* Domínguez, *et al.*, (2019) identificaron, por medio de HPLC-DAD-QTOF/MS, un total de 11 compuestos fenólicos

en cáscara para la variedad *flavicarpa*, compuestos como luteolina-6-C-glucósido (isoorientina), lucenina, vitexina, apigenina-8-C-glucósido y luteolina-rutinósido, entre otros, estos pertenecen al grupo de las flavonas, un subgrupo de los flavonoides que tiene un gran reconocimiento por su capacidad antioxidante.

En Ramos *et al.*, (2018) cuantificaron específicamente quercetina y kaempferol (flavonoles) en pulpa, cáscara, y semilla de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*), reportando pulpa de 506,45 mg/100 g y de kaempferol en cáscara de 74,70 mg/100 g. A pesar de no encontrar estos compuesto en semilla, lo que identificaron fueron otros flavonoides como malvidina-3,5-diglucósido (antocianidina), demostrando que las semillas también aportan compuestos flavonoides de distinta naturaleza. Confirmando que tanto cáscara como semilla, de esta variedad contiene compuestos flavonoides de interés, respaldando el segundo objetivo del presente estudio.

Marco teórico

Residuos agroindustriales

Concepto de residuos agroindustriales

Definición e importancia

La agroindustria constituye un sector estratégico dentro de la economía circular, debido a que integra diversas actividades orientadas a la transformación de materias primas de origen agrícola en productos con valor agregado para el consumo (Aguiar *et al.*, 2022). No obstante, este proceso genera grandes cantidades de subproductos y desechos que, al no ser gestionado adecuadamente, pueden convertirse en una importante fuente de contaminación ambiental. Estos residuos agroindustriales, pueden ser generados en el campo a partir de la cosecha, como hojas, tallos, vainas de semillas o a través del procesamiento industrial entre los que destacan cáscara, semillas, pulpas y bagazo (Aguiar *et al.*, 2022; Yam Chan & Peña Rodríguez, 2025).

La creciente producción de residuos agroindustriales representa un gran desafío ambiental. En Ecuador, se estima que aproximadamente existe una generación del 2,2 millones de toneladas anuales de estos subproductos, que contienen principalmente biomasa, lignocelulosa y residuos ricos en almidón, que poseen un alto potencial de aprovechamiento (Riera *et al.*, 2018, citado en Aguiar *et al.*, 2022). Sin embargo, estos desechos siguen siendo eliminados por medio de prácticas inadecuadas, como la quema de cielo abierto y eliminación en vertederos, produciendo así impactos negativos al suelo, aguas subterráneas, calidad del aire y la biodiversidad del ecosistema (Aguiar *et al.*, 2022).

Actualmente, se ha generado un gran interés por el desarrollo de alternativas sostenibles para la valorización de residuos agroindustriales, debido a la cantidad de compuestos de interés biológicos que poseen. Diversas investigaciones han demostrado la capacidad antioxidante, y cantidad de compuestos fenólicos que tienen estos desechos. (Martínez Morales Enith Salomé, 2016). Despertando interés científico debido a sus propiedades funcionales a nivel alimenticio, farmacéutico y cosmetológico. De esta forma, residuos provenientes de frutas tropicales como el mango (*Mangifera indica* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*) son una fuente rica de compuestos bioactivos, contribuyendo a la obtención y desarrollo de productos de valor agregado (Martínez Morales Enith Salomé, 2016; Silva J. *et al.*, 2021).

Generación de residuos en la industria alimentaria.

En la actualidad, existe un gran número de investigaciones orientadas al aprovechamiento de estos subproductos, identificando diversas tecnológicas para su reincorporación en la cadena productiva, como en la producción de energía, elaboración de fertilizantes orgánicos, fabricación de materiales biodegradables, alimento animal. (Aguiar *et al.*, 2022; Yam Chan & Peña Rodríguez, 2025) Sin embargo, se ha generado gran interés científico en la recuperación de compuestos bioactivos presentes en estos residuos. Diversos estudios han demostrado que estos subproductos contienen metabolitos como compuestos

fenólicos, flavonoides, carotenoides y otros antioxidantes naturales, los cuales tienen una gran aplicación alimentaria, farmacéutica y cosmética (Yam Chan & Peña Rodríguez, 2025)

Potencial de los residuos de frutas como fuente de compuestos bioactivos.

Los derivados que se obtienen a partir del procesamiento de frutas han recibido especial atención, esto por el elevado contenido de compuestos bioactivos que contienen, ya que diversos estudios han demostrado que estos subproductos constituyen importantes fuentes de polifenoles, flavonoides, carotenoides, entre otros metabolitos secundarios (Aguiar *et al.*, 2022). Estas fracciones que no son comestibles, se puede obtener mayor cantidad de compuestos bioactivos que la propia pulpa, lo que aumenta el interés para la búsqueda de aplicaciones industriales y biotecnológicas (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018).

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas que han sido ampliamente estudiados, los resultados demuestran que la cáscara presenta un mayor contenido de compuestos fenólicos con 135.54 mgEAG/g, siendo superior a la pulpa que solo alcanzó a 78.82 mg EAG/g (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018). Kim *et al.*, 2020 en Aguiar *et al.*, 2022 coinciden en que la cáscara es una fuente rica en polifenoles y flavonoides con gran potencial antioxidante. El interés por estos compuestos radica en las múltiples aplicaciones que pueden aprovecharse a partir de estos subproductos, como ingredientes funcionales, antioxidantes naturales y agentes conservantes en alimentos, además de su posible uso en productos farmacéuticos y cosméticos (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018; Aguiar *et al.*, 2022), presentando así grandes alternativas sostenibles para la obtención de estos compuestos con un gran valor agregado, construyendo una economía circular y reduciendo el impacto ambiental.

Residuos agroindustriales de maracuyá (*Passiflora edulis*)

Importancia del cultivo.

La maracuyá (*Passiflora edulis*) es una fruta tropical de América que con el pasar de los años ha adquirido una gran relevancia económica a nivel mundial, sobre todo en países como

Brasil, Colombia y Ecuador (Weyya *et al.*, 2024). La especie con mayor importancia comercial es la maracuyá amarilla (*Passiflora edulis f. flavicarpa Deg.*), debido a sus amplias características organolépticas y su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas (Chiriguayo Macías & Ruiz Parrales, 2021).

En Ecuador, el cultivo de maracuyá es destinado a la elaboración de jugos y concentrados, aproximadamente el 70% de la producción es destinada solamente a la industria (Chiriguayo Macías & Ruiz Parrales, 2021), sin embargo, no existe aún incentivos gubernamentales que establezcan precios mínimos que ayuden expandir áreas productivas para esta fruta.

Su importancia radica en la composición nutricional y funcional, ya que, es rica en compuestos bioactivos como carotenoides (β -caroteno, luteína), polifenoles (ácido gálico) y flavonoides (vitexina), los cuales son asociados con altas propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y beneficios para diversos usos, como la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Weyya *et al.*, 2024). Además, Pazmiño (2020) menciona que el género *Passiflora* posee un potencial antioxidante y antimicrobiano que puede llegar a ser una alternativa para enfermedades digestivas, posicionándoles con un alto potencial en el mercado.

Generación de residuos durante el procesamiento.

El procesamiento industrial de maracuyá genera una gran cantidad de residuos, dado que la pulpa solo representa una fracción del fruto. Según Weyya *et al.*, (2024), luego de la industrialización se descrata más del 60% del peso del fruto, lo que se traduce aproximadamente en 1.050.000 millones de toneladas anuales de residuos a nivel mundial. Esto es consistente con Chiriguayo Macías & Ruiz Parrales (2021) donde menciona que la cáscara representa el 52% del fruto y no debería considerarse residuo industrial, porque tiene potencial para la obtención de otros productos.

Ecuador tiene zonas de producción y procesamiento relevantes, solamente en el Distrito Metropolitano de Quito los residuos húmedos de maracuyá alcanzan al 39.000kg/año,

convirtiéndose en una de las frutas que genera mayor volumen de residuos en la región (Pazmiño, 2020), transformando un problema ambiental en una oportunidad de negocio.

En Colombia, se han identificado 3 tipos de residuos de maracuyá disponibles mensualmente: cáscara partida, cáscara picada con semilla y cáscara molida con semillas, alcanzando un total 12.771 kg/mes por distintas empresas procesadoras, representando una gran fuente de materia prima para futuros proyectos en desarrollo (Pazmiño, 2020).

Composición química de la cáscara y semilla.

Cáscara

La cáscara de maracuyá es un residuo agroindustrial muy rico en nutrientes y compuestos bioactivos. Su composición química incluye fibra dietética soluble e insoluble, proteínas, carbohidratos y minerales. Molina-Hernández *et al.*, (2019) demostró que el epicarpio contiene fibra dietética total con una concentración de 71,6g/100 en base seca y un contenido proteico de 11,87g/100g en base seca y carotenoides totales de 3,86 mg de β -carotenos/100 g.

En cuanto a los compuestos fenólicos, el extracto etanólico de cáscara de maracuyá ha mostrado polifenoles totales de 360 mg EAG/g, con una actividad antioxidante de 28,98 μ g EAG/ml según el método DPPH, además de la presencia de alcaloides, triterpenos, esteroides, flavonoides, antocianinas, taninos y saponinas (Pazmiño, 2020). Según Weyya *et al.*, (2024), destaca que la cáscara es rica en ácido gálico y ácido neoclorogénico, compuesto fenólico con propiedades antioxidante que inhiben la peroxidasa lipídica y reducen los radicales libres, además de proteger contra el estrés oxidativo.

En cuanto a los flavonoides, Weyya *et al.*, (2024); reporta que la cáscara de maracuyá contiene vitexina, un flavonoide reconocido por tener propiedades antiinflamatorias y antioxidantes. Además, determinaron un contenido de polifenoles totales de 4,67mg/g en equivalente en ácido gálico. Pazmiño (2020) confirma la presencia en cáscara de alcaloides,

triterpenos, esteroides, flavonoides, antiocianinas, fenoles, taninos y saponinas, evidenciando el potencial de este residuo agroindustrial como fuente de metabolitos con actividad biológica.

Semilla

Las semillas de maracuyá representan entre el 6% y el 12% del peso total del fruto y es una fuente rica de lípidos, proteínas y compuestos bioactivos (Weyya *et al.*, 2024). El contenido de estos compuestos puede variar debido al tipo de solvente que se use y el método de extracción. La extracción con hexano (Soxhlet) ha reportado 1.314,13 mg GAE/kg de aceite.

Destacando el picetannol, un estilbenoide con alta capacidad antioxidante. He *et al.*, (2020) reportan que las semillas contienen 36,80 mg/g de piceatannol en extracto etanólico. Según Weyya *et al.*, (2024) poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas y antimicrobianas. Además, confirman que el extracto de semillas de maracuyá contiene cantidades satisfactorias de polifenoles, flavonoides y carotenoides, con una actividad antioxidante relevante (Dos Santos *et al.*, 2021).

La actividad antioxidante del extracto etanólico ha sido evaluada mediante DPPH, reportando valores de IC₅₀ de 83,85± 4,66 mg/L, mientras que por medio metanólico 173,46 ± 5,60 mg/L, confirmando mayor eficiencia con etanol (Samudin *et al.*, 2022).

Los compuestos fenólicos, estudiados han reportado que el aceite de semillas de maracuyá presenta un contenido fenólico total de 145,48 mg EAG/kg, con una composición predominante de ácidos grasos esenciales.

Residuos agroindustriales de mango (*Mangifera indica*)

Importancia del cultivo.

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales de bastante relevancia a nivel mundial, esto se debe a su producción y aceptación por parte de la población, esta fruta es cultivada en más de 100 países (Sogi *et al.*, 2013). A lo largo del tiempo se ha vuelto bastante popular y económicamente relevante en distintas partes del mundo, ya sea por su color brillante, sabor dulce y aroma exótico, su composición nutricional incluye vitaminas,

minerales, fibra y fitoquímicos (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018). Además, posee un alto contenido de compuestos bioactivos, destacando los polifenoles y carotenoides presentes en la fruta, otorgándole propiedades antioxidantes (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018; Martínez Morales Enith Salomé, 2016). En Ecuador, en la provincia de Manabí, el mango es cultivado en abundancia, en aproximadamente en 5.200 hectáreas produciendo alrededor de 13 millones de cajas por año, generando una importante actividad económica para la población ecuatoriana, dando como resultado la generación de desechos agroindustriales (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018).

Generación de residuos durante el procesamiento.

El procesamiento industrial del mango para la obtención de jugos, néctar, pulpas, frutas deshidratadas, produce una gran cantidad de residuos sólidos. Sogi *et al.*, (2013) menciona que depende de la variedad del fruto y el tipo de proceso, la fracción no comestible puede representar entre el 35% y el 60% del peso del fruto. Otros estudios indican que solamente el despulpado del mango puede llegar a generar 50% y 55% de residuos (Mejía *et al.*, 2007)

Los residuos están compuestos principalmente por la cáscara (pericarpio), las semillas (kernels) y restos de pulpa (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018; Sogi *et al.*, 2013). En la industria de pulpas y jugos del valle del Cauca (Colombia), se llegan a procesar aproximadamente 351.5 toneladas /semana de mango, generando 193.32 toneladas/semanas de residuos (Mejía *et al.*, 2007), reincidiendo en que al no ser gestionada adecuadamente estos desechos causa contaminación ambiental. (Acuña Velez Leticia Lisseth, 2018).

Composición química de la cáscara y semilla.

Cáscara

La cáscara de mango variedad Tommy Atkins presenta un alto contenido de humedad, que puede alcanzar el 83.37%, en cuanto a los compuestos fenólicos, la cáscara presenta concentraciones que varían entre 2032 y 3185 mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100g de muestra seca (Serna Cock & Torres León, 2014; Sogi *et al.*, 2013). Además, contiene

cantidades intermedias de carotenoides debido a su color verde y rojo. La cáscara también contiene pectina, celulosa, hemicelulosa, lípidos, proteínas y minerales como potasio, calcio, cobre, zinc, manganeso, hierro y selenio (Sogi *et al.*, 2013). También se han reportado valores de ORAC de 418 y 776 $\mu\text{mol TE/g}$ en base seca para cáscara de mango.

Semilla

Posee un contenido de humedad del 55.56%, la semilla es una fuente excepcionalmente rica en compuestos fenólicos. Su contenido en base seca para la variedad Tommy puede variar entre 11,228 y 20,034 mg de GAE por 100g de base seca (Sogi *et al.*, 2013). Los principales polifenoles identificados incluyendo ácido gálico, ácido elágico, ácido ferúlico, taninos, vainillina y mangiferina (Martínez Morales Enith Salomé, 2016). Debido a su alto contenido fenólico, los extractos de semilla exhiben una capacidad antioxidante bastante superior a la de la cáscara y pulpa, valores de ORAC para semilla varían entre 1547 y 1819 $\mu\text{mol TE/g}$ en base seca, a diferencia de la cáscara que varían entre 418 y 776 $\mu\text{mol TE/g}$ (Sogi *et al.*, 2013)

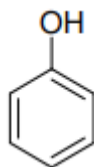
Compuestos fenólicos

Definición y clasificación.

Los compuestos fenólicos, también conocidos como polifenoles, constituyen uno de los grupos de metabolitos secundarios más abundantes y diversos en el reino vegetal (Martín Gordo, 2018a). Se definen, como sustancias que poseen al menos un anillo aromático el cual se encuentra unido uno o varios grupos hidroxilo (-OH), siendo el fenol su estructura más simple (Peñarrieta *et al.*, 2014). A diferencia de los metabolitos primarios, estos no participan directamente en procesos vitales como el proceso de la fotosíntesis o la respiración, sin embargo, siguen siendo fundamentales para la interacción de la planta con su entorno (Martín Gordo, 2018).

Figura 1

Estructura química del fenol.



Nota. El fenol está constituido por un grupo hidroxilo (-OH) unido directamente a un anillo aromático. Elaborado por Alvarez,C. (2026) con ACD/ChemSketch.

Su clasificación es bastante extensa y se da a partir de la complejidad de su estructura y de las vías biosintéticas de donde provengan. La ruta principal para la síntesis de la mayoría de compuestos, es la del ácido shikímico, que a partir de fosfoenolpiruvato y D-eritrosa-4-fosfato se forman los aminoácidos aromáticos como la fenilalanina. Otra ruta es la del acetato malonato, la cual es responsable de la síntesis de fenoles simples como el ácido 6-metilsalicílico (Martín Gordo, 2018).

La clasificación general de los compuestos fenólicos a partir de información en (Martín Gordo, 2018; Peñarrieta *et al.*, 2014) puede derivarse en:

1. Fenoles y ácidos fenólicos simples.
2. Cumarinas, xantonas, estilbenos y quinonas.
3. Flavonoides.
4. Taninos.
5. Lignanós y ligninas.

Funciones Biológicas

Los compuestos fenólicos se traducen en una amplia gama de funciones biológicas, tanto para la planta que los sintetiza como para los organismos que los consumen. Dentro del mundo vegetal los compuestos fenólicos actúan como mecanismos de defensa contra patógenos, herbívoros y estrés abiótico (como la radiación UV). Además, son responsables de las características organolépticas de los alimentos como la astringencia o el color y participan

en procesos de crecimiento y reproducción vegetal (Martín Gordo, 2018 ; Peñarrieta *et al.*, 2014).

A diferencia de las plantas, los humanos adquieren estos compuestos a través de su dieta, teniendo varios efectos dentro de su salud, como la actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria. cardioprotectora, anticancerígena (Martín Gordo, 2018).

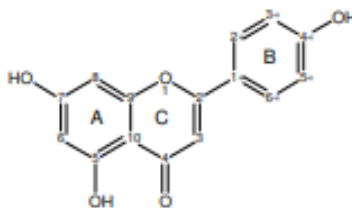
Flavonoides

Dentro de la clasificación de los compuestos fenólicos tenemos a flavonoides, el cual es un grupo bastante numeroso y muy importante (Martín Gordo, 2018b; Peñarrieta *et al.*, 2014). Estos metabolitos secundarios que son sintetizados por las plantas a través de la ruta de los fenilpropanoides, a partir del 4-hidroxicinamoil-CoA obtenido a partir de la ruta del ácido shikímico y tres moléculas de malonil-CoA (Martín Gordo, 2018b). El término “flavonoide” proviene del latín flavus, que significa “amarillo”, haciendo referencia al color que presenta muchos de estos compuestos en su forma purificada (Peñarrieta *et al.*, 2014).

Los flavonoides, se caracterizan por poseer un esqueleto de 2-fenilbenzopirano, aquel que posee dos anillos aromáticos (conocidos por A y B), unidos por un anillo heterocíclico de oxígeno de tres carbonos (C) (Peñarrieta *et al.*, 2014). Esta estructura base permite varios patrones de sustitución, como hidroxilaciones, metilaciones y glicosilaciones, lo que da a lugar a la gran diversidad de compuestos, por lo que se han generado 8000 compuestos fenólicos, donde la mayoría son flavonoides (Martín Gordo, 2018b; Peñarrieta *et al.*, 2014).

Figura 2

Estructura básica de un flavonoide



Nota. Los flavonoides presentan un esqueleto básico constituido por dos anillos aromáticos (A y B) unidos mediante un anillo heterocíclico de oxígeno (C). Elaborado por Alvarez, C. (2026) con ACD/ChemSketch.

La importancia de los flavonoides radica en que es uno de los metabolitos más relevantes dentro del reino vegetal, además de un amplio espectro de funciones biológicas que no solo afectan a las plantas si no a todos los organismo que lo consumen incluyendo a los seres humanos. Desde un punto de vista vegetal, estos compuestos son requeridos para la supervivencia y reproducción de la planta. Dándole características clave como pigmentos naturales, para la atracción de polinizadores y agentes dispersores de semillas, con el fin de perpetuar la especie (Peñarrieta *et al.*, 2014). Además, de tener función protectora crucial para filtrar radiación UV evitando el daño en el tejido vegetal y mecanismos de defensa contra agentes patógenos (Martín Gordo, 2018).

El interés científico y médico de los flavonoides se ha desarrollado en las últimas décadas, sobre todo enfocadas a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Al tener la capacidad antioxidante, neutralizando especies reactivas de oxígeno y nitrógeno. También muchos flavonoides poseen la capacidad de quelar iones metálicos de transición (Fe^{2+} y Cu^{2+}), inhibiendo la reacción de fenton (Martín Gordo, 2018).

Los flavonoides extraídos a partir de residuos agroindustriales (cáscara y semillas) se ha consolidado como una estrategia clave para la economía circular, permitiendo obtener productos

de bajo costo, reduciendo impacto ambiental y creando productos para distintas industrias como la farmacéutica y cosmética (Salazar-López *et al.*, 2023).

Métodos de determinación de compuestos bioactivos

La evaluación de la capacidad antioxidante, compuestos fenólicos y flavonoides en material vegetal, requieren de distintas técnicas espectrofotométricas estandarizadas, que permitirán cuantificar de forma indirecta, como: el cambio de color debido a la reacción química que tiene a lugar. En este trabajo se emplearon tres ensayos: el método de Folin-Ciocalteu usado en la cuantificación del contenido fenólico total; el ensayo de DPPH empleado para determinar capacidad antioxidante mediante la neutralización de un radical libre estable; y el método colorimétrico del cloruro de aluminio, destinado a la cuantificación de flavonoides totales.

Ensayo de Folin-Ciocalteu

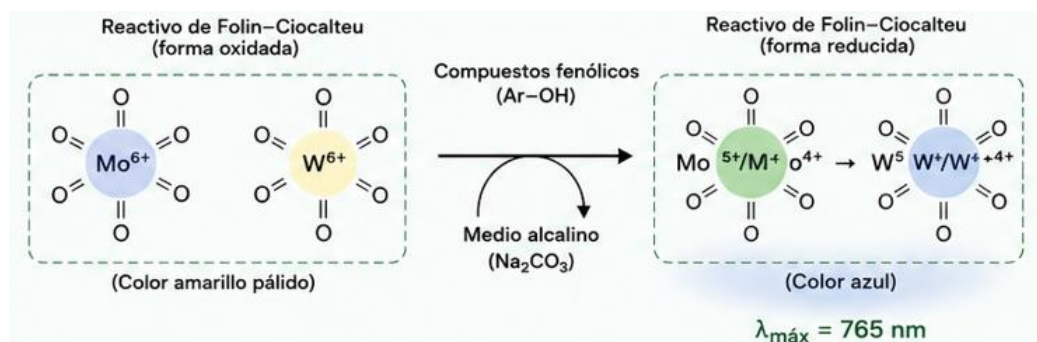
La prueba de Folin-Ciocalteu es uno de los métodos más reconocidos y ampliamente utilizados para determinar el contenido fenólico total (CFT) en alimentos, extractos vegetales y muestras biológicas, siendo de suma importancia para estudios clínicos y nutricionales orientados a la ingesta de polifenoles y potencial efecto antioxidante (Singleton *et al.*, 1999). Este método no se diseñó principalmente para el análisis de fenoles, si no era para la determinación de proteínas, al pasar el tiempo se adaptó el estudio para compuestos fenólicos.

El fundamento de la técnica es la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu, en medio alcalino, por parte de los compuestos fenólicos presentes en las muestras. La composición del reactivo en su totalidad, no se conoce, sin embargo, se sabe que tiene complejos de ácido fosfomolibdico y ácido fosfotúngstico que, al aceptar los electrones de los fenoles de la muestra, se genera un cromóforo de color azul intenso, este posee una absorbancia máxima de 765 nm (Alcalde *et al.*, 2019). Químicamente el reactivo de Folin-Ciocalteu contiene complejos metálicos del molibdeno y wolframio en su forma oxidada (color amarillo). Al entrar en contacto con los compuestos fenólicos de la muestra, en un medio alcalino, estos ceden electrones al

reactivo, reduciendo parte del molibdeno presente en el complejo. Este cambio genera un nuevo compuesto de color azul intenso, conocido como azul de molibdeno, su intensidad es proporcional a la cantidad de electrones cedidos por los antioxidantes de la muestra (Pérez *et al.*, 2023). Por este motivo, el mecanismo del ensayo se clasifica como una reacción de transferencia de un solo electrón, la cual está asociada al poder reductor de los compuestos fenólicos presentes en el extracto.

Para la cuantificación, el ensayo emplea habitualmente ácido gálico como estándar de referencia, de modo que los resultados del contenido fenólico total se expresan equivalentes de ácido gálico (mg GAE/g de muestra), aun que en otros estudios se ha demostrado que han usado catequinas, ácido cafeico, ácido clorogénico o ácido ferúlico como estándares alternativos (Pérez *et al.*, 2023) lo que recalca que siempre se debe realizar una estandarización adecuada. La lectura se realiza con un espectrofotómetro a un rango de 765 nm, lo que permite correlacionar de forma directa la intensidad del color con la concentración de fenoles presentes en la muestra.

No obstante, es de importancia señalar que este tipo de método es muy sensible al pH, la temperatura y el tiempo de reacción, lo cual debe ser considerados para que se obtenga unos resultados fiables (Alcalde *et al.*, 2019).

Figura 3**Reacción de Folin-Ciocalteu**

Nota. Reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu por compuestos fenólicos, generando una coloración azul. Elaborado por Alvarez,C. (2026) con ACD/ChemSketch.

Ensayo del radical de DPPH

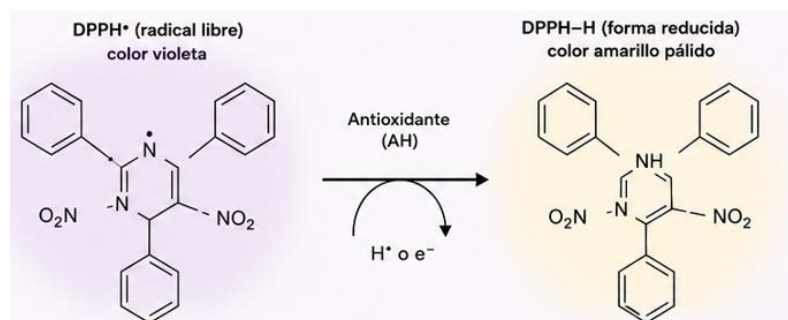
El estrés oxidativo es un fenómeno ligado a la formación de radicales libres, estos son capaces de dañar biomoléculas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, esto puede causar daño en la calidad de los alimentos y también en la salud de la vida humana. Por esta razón, los antioxidantes desempeñan un papel fundamental, ya que ayuda a neutralizar dichos radicales y retrasar los procesos de oxidación, por ello es la demanda creciente en evaluar la capacidad antioxidante en los compuestos naturales o matices alimenticias (Gulcin & Alwasel, 2023).

Con este contexto, este ensayo 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es uno de los métodos más utilizados para determinar la actividad antioxidante *in vitro*, debido a lo sencillo, rápido y bajo costo que tiene. Su fundamento radica en que este ensayo es peculiar, a diferencia de otros ensayos que son inestables y pueden llegar a reaccionar con todo, el DPPH se mantiene estable durante horas en disolución. Esto se debe a el electrón desapareado que lo convierte en radical no queda atrapado en un único átomo, si no que se reparte por toda la molécula, lo que reduce su reactividad proporcionándole su color característico morado y lo permite ser un compuesto comercial, manejable en laboratorio.

Cuando este radical entra en contacto con un antioxidante, este último le cede un átomo de hidrógeno. Al recibirlo ese hidrógeno, el DPPH deja de ser un radical y pasa a su forma estable y reducida DPPH-H. Esta transformación química genera que su color morado característico cambie a amarillo. Por este cambio es que se mide la absorbancia en 517 nm mediante espectrofotometría (Yamauchi *et al.*, 2024). A mayor capacidad antioxidante de la muestra, menor la absorbancia final. Por ello los resultados suelen expresarse como porcentaje de inhibición, reducción de la absorbancia respecto al blanco, magnitud que si es directamente proporcional a la capacidad antioxidante. A diferencia de otros ensayos la disolución de DPPH debe calibrarse previamente a una absorbancia de referencia ($0,7 \pm 0,05$) y protegerse de la luz, ya que el radical se degrada fotoquímicamente. Los resultados se suelen expresar como mg equivalentes de Trolox por gramo de peso fresco (Gulcin & Alwasel, 2023).

Figura 4

Reacción de DPPH



Nota. Reducción del radical DPPH• por acción de compuestos antioxidantes. Elaborado por Alvarez, C. (2026) con ACD/ChemSketch.

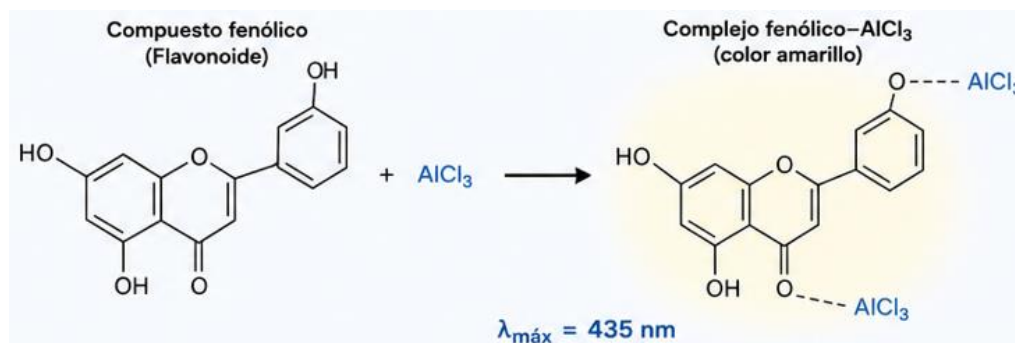
Método del cloruro de aluminio

Los flavonoides son metabolitos secundarios de naturaleza polifenólica, ampliamente distribuidos en el reino vegetal, estos participan en funciones biológicas como la defensa frente a patógenos y la señalización celular y que destacan principalmente por su elevada actividad antioxidante (Panche *et al.*, 2016). Para cuantificar el contenido total de flavonoides (CTF) se

usa el método colorimétrico basado en la reacción de los flavonoides con el cloruro de aluminio (AlCl_3). El aluminio (III) forma complejos estables con ciertos flavonoides (flavonas y flavonoles) y esta unión genera un compuesto amarillo cuya absorbancia se mide a 435nm (Fathi Hafshejani *et al.*, 2023), a mayor cantidad de flavonoides en la muestra mayor su absorbancia. A diferencia del ácido gálico para el ensayo de Folin, este no tiene un único compuesto de referencia universal, porque no todos los flavonoides forman el complejo de la misma manera, depende de la estructura, disolvente y condiciones de reacción. Por eso el resultado o se reporta como flavonoides totales absolutos si no en mg equivalentes de quercetina (mg QE/g) (Pękal & Pyrzynska, 2014).

Figura 5

Reacción de flavonoides con cloruro de aluminio



Nota. Reacción de los flavonoides con cloruro de aluminio para la formación de complejos.

Elaborado por Alvarez, C. (2026) con ACD/ChemSketch.

Marco conceptual

Residuos agroindustriales

Comprendemos como residuos agroindustriales a los subproductos que se generan durante el procesamiento de materia prima, origen vegetal o animal en etapas como la cosecha o la transformación. Analizándolo desde la industria frutícola, los residuos agroindustriales engloban las cáscaras de las frutas, la pulpa remanente y semillas, de entre los cuales son

normalmente descartados (Aguiar *et al.*, 2022; Yam Chan & Peña Rodríguez, 2025). Para la siguiente investigación, el concepto de residuo agroindustrial se empleará para hablar sobre los excedentes no comestibles del fruto conocido como maracuyá (*Passiflora edulis*), además del mango (*Mangifera indica*), para lo que emplearemos residuos como, semillas y cascará, donde encontraremos fuente probable de los compuestos bioactivos de nuestro interés.

Compuestos fenólicos

Compuestos conocidos como polifenoles o fenólicos, representan un gran grupo de metabolitos secundarios diversos que se sintetizan por plantas, se caracterizan por poseer en su estructura al menos un anillo aromático que se enlaza a uno o varios grupos hidroxilo. Los compuestos fenólicos no participan en procesos metabólicos esenciales, como fotosíntesis o respiración de la planta, sin embargo, cumple funciones que siguen siendo elementales en su defensa frente a organismos patógenos, le otorga protección frente a la radiación UV y ayuda a regular su crecimiento (Martín Gordo, 2018; Peñarrieta *et al.*, 2014). Para este estudio, el contenido total de los compuestos fenólicos totales se definirá como la cantidad de sustancia fenólica que se encuentre presente en el extracto etanólico tanto de la cáscara como de la semilla, que se cuantificará mediante método espectrofotométrico, Folin-Ciocalteu y se expresara en unidades de miligramos equivalentes del ácido gálico, por gramo de la muestra fresca (mg GAE/g PF).

Flavonoides

Una subclase de compuestos fenólicos se conoce como flavonoides, con una extensa distribución en el reino de las plantas. Su base estructural se compone por un esqueleto 2-fenilbenzopirano (C6-C3-C6), conformado por dos anillos aromáticos (A y B), que se unen mediante un anillo heterocíclico de oxígeno (C). Su estructura permitiría patrones múltiples de sustitución, dando lugar a una vasta diversidad de compuestos conocidos como flavones, flavonoles, isoflavonoides, flavonas y antocianidinas (Martín Gordo, 2018; Peñarrieta *et al.*, 2014). Para el contexto de esta investigación el contenido total de los flavonoides se presentará

como la concentración en el extracto vegetal, determinada por el método colorimétrico con cloruro de aluminio (AlCl_3), que formará complejos estables con grupos como 3-hidroxi-4-ceto y 5-hidroxi-4-ceto presente en las flavonas y los flavonoles. Para los resultados, se expresará como miligramos equivalentes de la quercetina, por gramo de la muestra fresca (mg QE/g PF) (Fathi Hafshejani *et al.*, 2023; Pękal & Pyrzynska, 2014).

Capacidad antioxidante

Se define a la capacidad antioxidante como la habilidad de un compuesto o sustancia para inhibir o neutralizar la acción de las especies reactivas del oxígeno y los radicales libres, previniendo de esta manera el daño oxidativo a las biomoléculas como los lípidos o ácidos nucleicos. En relación con los alimentos además de extractos vegetales, las propiedades se asocian con la presencia de los compuestos fenólicos o los flavonoides, actuando como donadores de átomos de hidrógeno y de electrones (Gulcin & Alwasel, 2023). Para la investigación, la capacidad antioxidante se evaluará mediante un ensayo del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo o DPPH, este método espectrofotométrico medirá la reducción del radical DPPH, estable, a su conformación reducida como DPPH-H, debido a la acción de compuestos antioxidantes que se encuentran presente en el extracto. El resultado se expresará en miligramos equivalentes de Trolox por el gramo de la muestra fresca (mg ET/g PF), en el que Trolox actuará como el estándar de referencia.

Relación entre variables

Durante la investigación se establecerá una relación teórica entre las tres variables que se mencionaron: compuestos totales fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante. Partimos del supuesto de que hay una asociación positiva entre los contenidos de los metabolitos fenólicos y la actividad antioxidante, tomando en cuenta que los polifenoles y los flavonoides serían los principales responsables de la capacidad de neutralizar radicales libres presentes en el extracto vegetal. Sin embargo, en la literatura se advierte que la relación entre estos supuestos no es lineal, ni directamente proporcional, debido a que esta capacidad antioxidante

depende también de la composición del extracto, estructura molecular de cada compuesto, grado de polimerización y además de la interacción antagónica o sinérgica entre los metabolitos presentes (Reyna *et al.*, 2026). Por lo cual, en el estudio no se cuantificará solamente las variables por separado, también se explora la correspondencia entre ellas, para entender el comportamiento fitoquímico del extracto de los residuos analizados.

Factores de variación

Para el marco conceptual se tomarán en cuenta dos factores que son clave en la influencia de las variables que se consideraron para el estudio:

a) Según el Tipo de tejido (cáscara vs. semilla).

La distribución de los compuestos bioactivos no es homogénea en el fruto, por lo cual la cascará y la semilla presentaran una diferente composición química, lo que podría traducirse en una gran diferencia entre los perfiles fitoquímicos de ambas y la capacidad antioxidante que presenten (Sogi *et al.*, 2013; Salvatore *et al.*, 2022). Por lo que, se realizara una comparación entre los tejidos, para la especie que se evalúe.

b) Por Estado de maduración (joven vs. maduro).

La maduración de un fruto conlleva cambios metabólicos que alteran procesos como la síntesis, degradación y acumulación de los compuestos fenólicos y de los flavonoides (Martín Gordo, 2018). Por lo cual, se tomará en cuenta el estado de maduración como un factor para analizar, esencialmente en el mango, determinando como influirían el contenido de bioactivos, además de la actividad antioxidante presente en el extracto del residuo agroindustrial (Lenucci *et al.*, 2022).

Capítulo III

Metodología

Enfoque y diseño de la investigación.

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo experimental y de alcance comparativo, orientado a comparar el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante de residuos agroindustriales (cáscaras y semillas), de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) y mango (*Mangifera indica* L., variedad Tommy Atkins) en estado verde y maduro.

El estudio se realizó utilizando muestras de cáscara y semillas de maracuyá y mango. Para cada tipo de muestra se realizaron cuatro réplicas, las cuales fueron sometidas a la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales mediante el método de Folin-Ciocalteu, flavonoides mediante el método del cloruro de aluminio y capacidad antioxidante mediante el ensayo de DPPH. Posteriormente, cada réplica fue medida por cuadruplicado en espectrofotómetro UV-Vis para obtener los valores de absorbancia y garantizar la precisión de los resultados.

Recolección del material vegetal

El material vegetal utilizado en este estudio estuvo constituido por residuos agroindustriales (cáscaras y semillas) de maracuyá (*Passiflora edulis*) y mango (*Mangifera indica*), obtenidas en locales dedicados a la preparación y comercialización de jugos y frutas frescas. Estos establecimientos se abastecen de dos zonas: maracuyá procedente del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, y el mango del sector Chacras, provincia de El Oro.

La recolección del material se realizó directamente en los establecimientos, donde los residuos generados durante el día fueron entregados en fundas plásticas limpias por los encargados. Posteriormente, las muestras fueron congeladas hasta realizar los ensayos respectivos.

Obtención de los extractos.

Las muestras fueron descongeladas y trasladadas al laboratorio con el fin de obtener los extractos. En el caso de las semillas y cáscaras de maracuyá, se pesaron 5 g de muestra fresca y se colocaron en un mortero y fueron macerados manualmente mediante la adición gradual de etanol absoluto al 96% hasta completar un volumen final de 10 mL de solvente por cada 5 g de muestra.

En el caso de las semillas de mango, debido a la dureza del endocarpio leñoso, fue necesario realizar previamente una trituration mecánica. Una vez reducido su tamaño, se aplicó el mismo procedimiento de extracción empleado para las cáscaras y semillas de maracuyá, en el mango.

Los extractos obtenidos se transfirieron a tubos Falcon de 15 mL, debidamente rotulados y se cubrieron con papel de aluminio para protegerlos de la luz y evitar la fotodegradación de los compuestos fenólicos y metabolitos que puedan tener. Posteriormente, se mantuvieron en refrigeración durante 12 horas a 4°C para permitir la maceración y favorecer a la extracción de los compuestos de interés. Transcurrido este tiempo, los extractos fueron filtrados y transferidos a nuevos tubos Falcon previamente identificados. Finalmente, los extractos fueron conservados en refrigeración y protegidos de la luz para preservar la integridad de cada uno de los metabolitos.

Determinación del contenido de compuesto fenólicos totales.

Método de Folin-Ciocalteu

La determinación del contenido de compuestos fenólicos totales se hizo mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu. Para cada tipo de muestra se trabajó con cuatro réplicas analíticas. Previo a realizar este ensayo, se realizó diluciones con etanol al 96%, para el extracto de cáscara de maracuyá se empleó una dilución de 1:100; para los extractos de cáscara de mango y semilla de maracuyá se utilizó una dilución 1:200; mientras que para los extractos de semilla de mango que se utilizó una dilución 1:400.

Cada determinación se realizó mezclando 0.4 mL del extracto diluido con 0.4 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu 1N y 2 mL de agua destilada, en tubos Falcon de 10 mL. La mezcla se mantuvo en reposo durante 5 minutos a temperatura ambiente y protegida de la luz. Posteriormente, se añadieron 0.4 mL de carbonato de sodio al 20% y, por último, 0.8 mL de agua destilada.

Se dejó incubar durante 1 hora a temperatura ambiente y en oscuridad, con el objetivo de permitir el desarrollo del cromóforo de color azul característico del complejo reducido de molibdato y tungstato. Pasado el tiempo de incubación, se midieron las distintas reacciones a una longitud de onda de 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis, utilizando el blanco correspondiente como referencia. La concentración final de compuestos fenólicos totales fue obtenida mediante interpolación con su curva de calibración construida con ácido gálico, los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra fresca (mg GAE/g).

Determinación del contenido de flavonoides.

Método de cloruro de aluminio.

Para determinar la concentración de flavonoides totales se empleó el método colorimétrico de cloruro de aluminio, basado en la formación de complejos entre aluminio y ciertos grupos funcionales presentes en los flavonoides. Para cada tipo de muestras se analizaron cuatro réplicas. Cada una de estas réplicas se realizó mezclando 1 mL del extracto con 1.5 mL de etanol al 96%, 0.1 mL de acetato de sodio 1M, 0.1 mL de cloruro de aluminio al 10% y 2,3 mL de agua destilada.

Las distintas reacciones se mantuvieron durante 40 minutos a temperatura ambiente y en oscuridad, con el fin de permitir la formación del complejo flavonoide-aluminio. Transcurrido este tiempo, las absorbancias se midieron a 435 nm en un espectrofotómetro UV-Vis, utilizando el blanco del ensayo como referencia. Los valores obtenidos se interpolaron con la curva de

calibración elaborada a partir de quercetina como estándar, y los resultados se expresaron como mg equivalentes de quercetina por gramo de muestra fresca (mg QE/g).

Determinación de la actividad antioxidante.

Ensayo DPPH

La capacidad antioxidante de los extractos se evaluó mediante el ensayo de DPPH, basado en la reducción del radical 2,2-difenil-1-picrihidrazilo por acción de los compuestos antioxidantes presentes en las muestras. Para cada tipo de muestra se analizaron cuatro réplicas; para este ensayo lo que se hizo es preparar una solución de DPPH a una concentración de 0.15 mM. La absorbancia de la solución fue ajustada a $0,7 \pm 0.05$ a una longitud de onda de 517 nm.

Para cada muestra se mezclaron 0.1 mL del extracto con 2 mL de la solución de DPPH previamente ajustada. Las mezclas se incubaron durante 30 minutos a temperatura ambiente y protegidas de la luz, lo que permitió la transferencia de los átomos de hidrógeno o electrones, a los antioxidantes presentes en las muestras. Luego, de finalizar el tiempo de reacción, se midieron las absorbancias a 517 nm en espectrofotómetro UV. La capacidad antioxidante se cuantificó mediante una curva de calibración elaborada con Trolox como estándar. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de Trolox por gramo (mg ET/g) utilizando su propia curva de calibración.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software RStudio (rCore Team), para el contenido de compuestos fenólicos totales, contenido total de flavonoides y capacidad antioxidante mediante DPPH, se efectuó un análisis descriptivo mediante el cálculo de la media y error estándar (EE) de las cuatro repeticiones experimentales.

Posteriormente, se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levene, con el propósito de seleccionar pruebas estadísticas más apropiadas para cada conjunto de datos.

Para la comparación entre tejidos (cáscara y semilla) de cada una de las especies, se aplicó ANOVA, cuando sí se cumplieron los supuestos estadísticos. En aquellos casos donde no se cumplió con el supuesto de homogeneidad de varianza se utilizó ANOVA de Welch como alternativa robusta. En el caso en que no se pudo verificar los supuestos de normalidad, se empleó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney.

Posteriormente, se realizó una comparación global considerando las seis muestras evaluadas (cáscara y semilla) de maracuyá, mango verde y mango maduro. A partir de que los datos no cumplieron de manera simultánea los supuestos para aplicar pruebas paramétricas en todas las variables, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal - Wallis. Al momento de identificar diferencias estadísticas significativas, se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn con ajuste en Bonferroni, con el fin de determinar cuáles grupos presentan diferencias entre sí.

Finalmente, para evaluar la relación entre el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y la capacidad antioxidante, se aplicó coeficiente de correlación de Spearman, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ para cada una de las pruebas estadísticas.

Capítulo IV

Análisis de resultados

En este capítulo se expondrán los resultados obtenidos a partir de la evaluación del contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante de extractos elaborados a partir de residuos agroindustriales (cáscara y semilla) de (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) y mango (*Mangifera indica* L., variedad Tommy Atkins) en estados verde y maduro. Para la cuantificación de estas variables se emplearon tres ensayos Folin-Ciocalteu, Cloruro de Aluminio y DPPH, respectivamente. Los resultados obtenidos se expresan como miligramo equivalente de ácido gálico por gramo de muestra fresco (mg GAE/g PF), miligramos equivalentes de quercetina por gramo de muestra fresco (mg QE/g PF) y miligramos equivalentes de Trolox por gramo de muestra fresca (mg ET/g), según el método empleado.

El estudio se desarrolló en seis grupos experimentales, correspondientes a la combinación de tres tipos de muestras vegetales (maracuyá, mango verde y mango maduro) y dos tejidos (cáscara y semillas). De esta forma, se pudo comparar el tejido por cada fruta, así como evaluar las diferencias entre las seis muestras y analizar la influencia del estado de maduración sobre el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante.

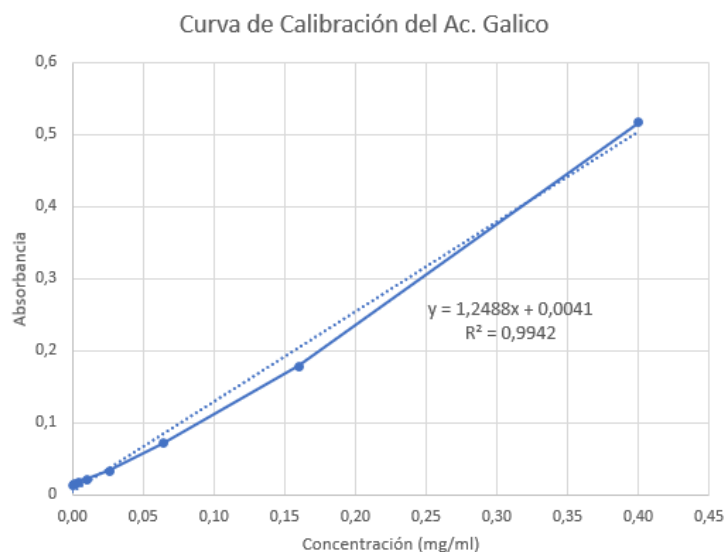
Los resultados de este estudio se presentan mediante un análisis descriptivo, utilizando la media y error estándar de cada variable. Se verificaron los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianza para seleccionar las pruebas inferenciales más apropiadas en cada caso. Debido a que, se realizaron comparaciones entre cáscara y semilla por cada especie y una comparación global entre las seis muestras, mediante pruebas no paramétricas y un análisis de correlación entre el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante, con el propósito de determinar la relación existente entre todas las variables.

Curvas de calibración

Para cuantificar los compuestos evaluados, se elaboraron curvas de calibración empleando los estándares correspondientes para cada ensayo. Estas curvas permitieron establecer la relación entre la concentración del estándar y la absorbancia dada por el espectrofotómetro, desarrollando un modelo de regresión lineal. Luego, de obtener las ecuaciones, estas son usadas para calcular la concentración de las muestras, expresando miligramos equivalentes de Trolox por gramo de muestra fresca (mg ET/g), miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra fresca (mg GAE/g) y miligramos equivalentes de quercetina por gramo de muestra fresca (mg QE/g), según el método empleado.

Figura 6

Curva de calibración de ácido gálico para la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales mediante el método de Folin-Ciocalteu.

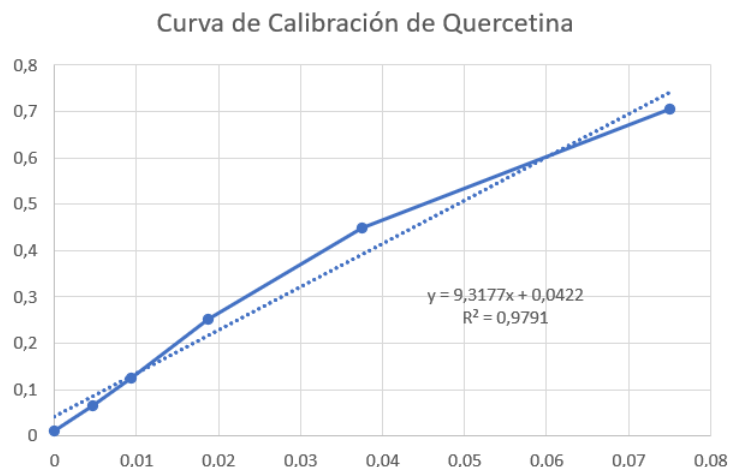


Nota. La Figura 6 evidencia la curva de calibración obtenida a partir de Ácido gálico empleado como estándar en el ensayo, presentó un ajuste lineal adecuado ($R^2 = 0,9942$) lo que permitió cuantificar las concentraciones compuestos fenólicos totales mediante interpolación lineal.

Elaborado por Alvarez, C. (2026) utilizando Microsoft Excel.

Figura 7

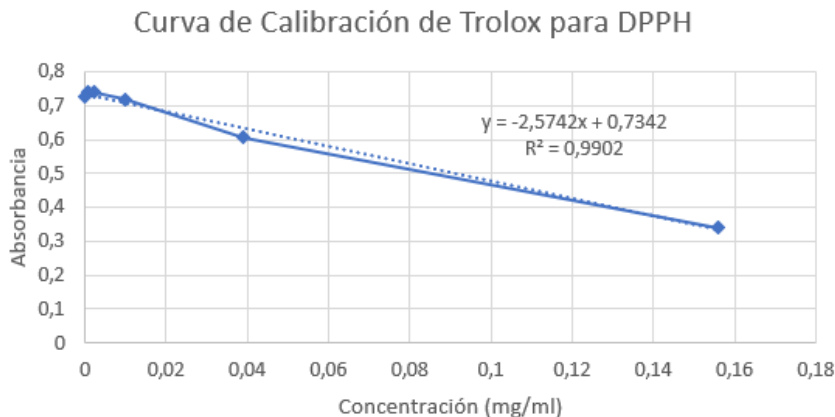
Curva de calibración de quercetina para la determinación de flavonoides.



Nota. La curva de calibración obtenida a partir de Quercetina empleada como estándar en el ensayo flavonoides presentó un ajuste lineal adecuado ($R^2 = 0,9791$), lo que permitió emplear la ecuación de la recta para la cuantificación del contenido de flavonoides en las muestras analizadas. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando Microsoft Excel.

Figura 8

Curva de calibración de Trolox para la determinación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH.



Nota. La curva de calibración obtenida a partir de Trolox como estándar en el ensayo DPPH presentó un ajuste lineal adecuado ($R^2 = 0,9902$), lo que permitió emplear la ecuación de la

recta para la determinación de la capacidad antioxidante en las muestras analizadas.

Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando Microsoft Excel.

Contenido de compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales de los extractos obtenidos a partir de cáscara y semilla de (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), mango verde y mango maduro (*Mangifera indica* L., variedad Tommy Atkins) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu. Los resultados se expresan como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra fresca (mg GAE/g PF) y corresponden a la media $\pm$ error estándar (EE) de cuatro repeticiones experimentales.

Tabla 1

Contenido de compuesto fenólicos totales en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.

Fruta	Tejido	Media $\pm$ EE (mg GAE/g PF)
Maracuyá	Cáscara	41.11 $\pm$ 1.09
Maracuyá	Semilla	101.65 $\pm$ 1.67
Mango verde	Cáscara	90.96 $\pm$ 0.73
Mango verde	Semilla	127.42 $\pm$ 3.64
Mango maduro	Cáscara	76.88 $\pm$ 3.39
Mango maduro	Semilla	240.89 $\pm$ 1.06

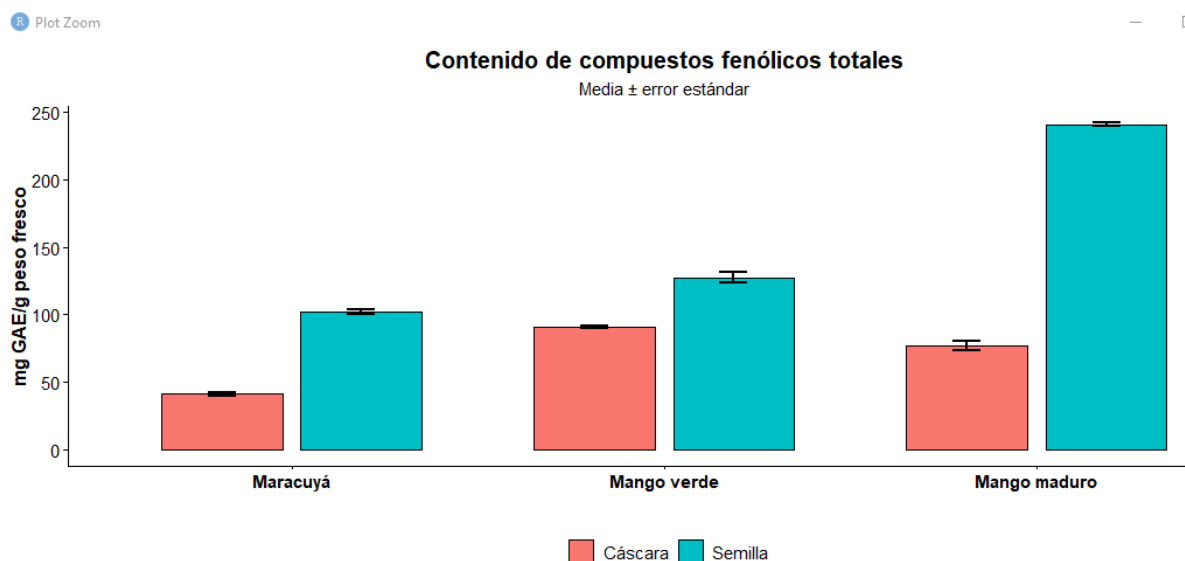
Nota. Los resultados corresponden a la media $\pm$ (EE) de cuatro repeticiones experimentales y se expresan en (mg GAE/g PF). Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio

Las semillas presentaron un mayor contenido de compuestos fenólicos que las cáscaras en las especies evaluadas. Las semillas de mango maduro registraron el mayor valor promedio (240,89 $\pm$ 1,06 mg GAE/g PF), mientras que la cáscara de maracuyá presentó el menor contenido (41.11 $\pm$ 1.09 mg GAE/g PF). Asimismo se observó un mayor contenido promedio de fenoles en la semilla de mango maduro respecto a la semilla de mango verde. Sin

embargo, en el caso de las cáscaras de esta especie, los valores presentaron un comportamiento inverso.

Figura 9

Contenido de compuesto fenólicos totales en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.



Nota. Se puede observar gráficamente las diferencias observadas en el contenido de compuestos fenólicos entre las muestras analizadas. La acumulación de compuestos fenólicos en las semillas es mayor en comparación de las cáscaras para ambas especies evaluadas.

Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

Contenido total de flavonoides

El contenido total de flavonoides en los extractos obtenidos a partir de cáscara y semilla de (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), mango verde y mango maduro (*Mangifera indica* L., variedad Tommy Atkins) se determinó mediante el método de cloruro de aluminio. Los resultados se expresan como miligramos equivalentes de quercetina en muestra de peso fresco (mg QE/g PF) y corresponden a la media $\pm$ error estándar (EE) de cuatro repeticiones experimentales.

Tabla 2

Contenido total de flavonoides en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.

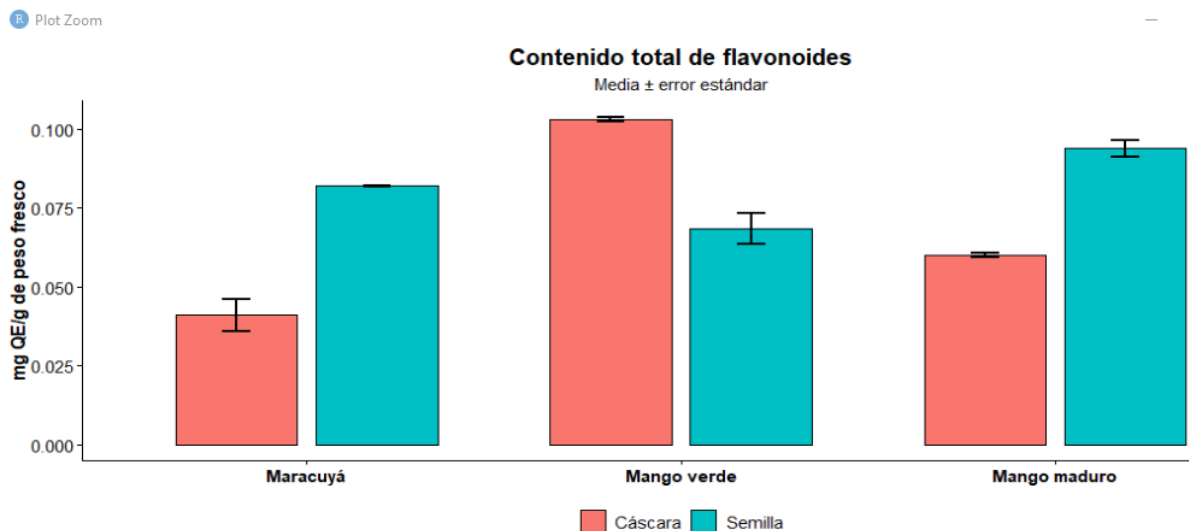
Fruta	Tejido	Media $\pm$ EE (mg QE/g PF)
Maracuyá	Cáscara	0.041 $\pm$ 0.010
Maracuyá	Semilla	0.082 $\pm$ 0.001
Mango verde	Cáscara	0.103 $\pm$ 0.001
Mango verde	Semilla	0.07 $\pm$ 0.001
Mango maduro	Cáscara	0.06 $\pm$ 0.001
Mango maduro	Semilla	0.094 $\pm$ 0.005

Nota. Los resultados corresponden a la media $\pm$ (EE) de cuatro repeticiones experimentales y se expresan en (mg QE/g PF). Elaborado por Alvarez, C. (2026) utilizando el software RStudio

La mayor concentración se registró en cáscara de mango verde (0,103 $\pm$ 0,001 mg QE/g PF), mientras que la menor correspondió a la cáscara de maracuyá (0,041 $\pm$ 0,010 mg QE/g PF). Los valores descriptivos evidenciaron variaciones entre especies y tejidos, las cuales fueron evaluadas posteriormente mediante pruebas estadísticas.

Figura 10

Contenido total de flavonoides en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.



Nota. En la gráfica muestra las diferencias en el contenido total de flavonoides entre las muestras evaluadas. Las cáscaras de mango verde presentó mayor concentración mientras que la cáscara de maracuyá registro el menor contenido. Los errores estándar evidencian una baja variabilidad entre las repeticiones. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

Capacidad antioxidante mediante DPPH

La capacidad antioxidante de los extractos de cáscaras y semilla de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), mango verde y mango maduro (*Mangifera indica* L., variedad Tommy Atkins) se determinó mediante el método DPPH. Los resultados se expresan como miligramos equivalentes de Trolox por gramo de peso fresco (mg ET/g PF) y corresponden a la media $\pm$ error estándar (EE) de cuatro repeticiones experimentales.

Tabla 3

Capacidad antioxidante en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.

Fruta	Tejido	Media $\pm$ EE (mg ET/g PF)
Maracuyá	Cáscara	0.123 $\pm$ 0.025
Maracuyá	Semilla	0.479 $\pm$ 0.003
Mango verde	Cáscara	0.511 $\pm$ 0.001
Mango verde	Semilla	0.486 $\pm$ 0.014
Mango maduro	Cáscara	0.434 $\pm$ 0.011
Mango maduro	Semilla	0.501 $\pm$ 0.005

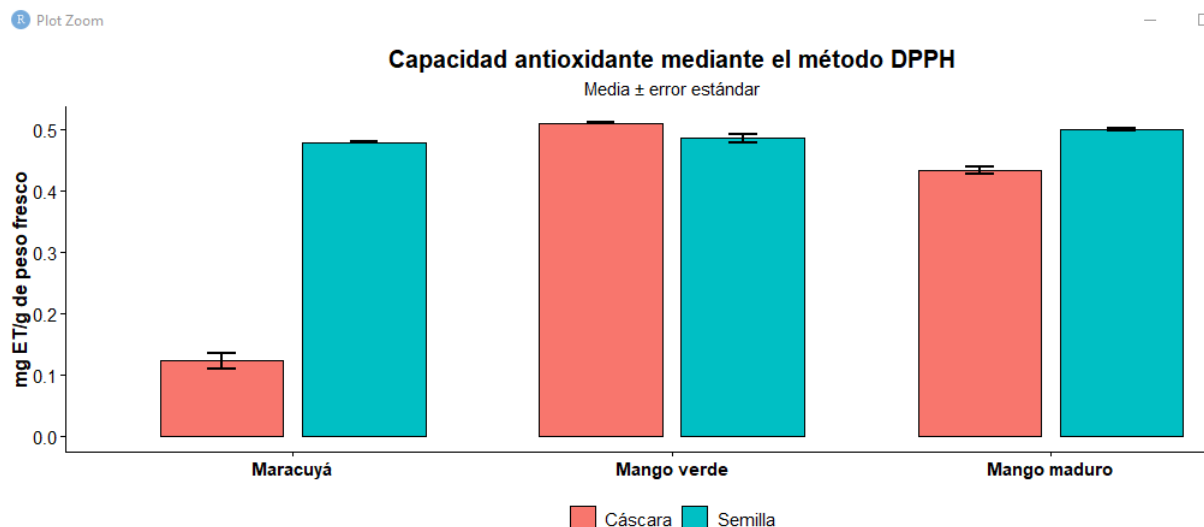
Nota. Los resultados corresponden a la media $\pm$ (EE) de cuatro repeticiones experimentales y se expresan en (mg ET/gPF). Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio

En la Tabla 3 se presentaron los valores de capacidad antioxidante de las muestras evaluadas. La mayor actividad antioxidante se registró en la cáscara de mango verde (0,511 $\pm$ 0,001 mg ET/g PF), mientras que la menor correspondió a la cáscara de maracuyá (0,123 $\pm$ 0,025 mg ET/g PF), evidenciándose variaciones entre los tejidos y especies analizados. Los errores estándar sugieren una baja variabilidad entre las repeticiones experimentales.

Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

Figura 11

Capacidad antioxidante en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.



Nota. La figura 11 muestra las diferencias en la capacidad antioxidante de las muestras evaluadas, la cáscara de mango verde presentó la mayor actividad antioxidante, mientras que la cáscara de maracuyá registró la menor. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

Verificación de supuestos estadísticos

Antes de aplicar el análisis de varianza (ANOVA), se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianza mediante la prueba de Levene.

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)

Tabla 4

Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante (DPPH).

Ensayo	Fruta	Tejido	W	p-valor	Normalidad
DPPH	Maracuyá	Cáscara	0,9374	0,6384	Si
DPPH	Maracuyá	Semilla	0,9393	0,6499	Si
DPPH	Mango verde	Cáscara	0,9778	0,889	Si
DPPH	Mango verde	Semilla	0,9473	0,6993	Si
DPPH	Mango				Si
	maduro	Cáscara	0,9904	0,9597	
DPPH	Mango				Si
	maduro	Semilla	0,9721	0,8547	
Folin	Maracuyá	Cáscara	0,7698	0,0582	Si
Folin	Maracuyá	Semilla	0,9729	0,8591	Si
Folin	Mango verde	Cáscara	0,8956	0,4093	Si
Folin	Mango verde	Semilla	0,9155	0,5121	Si
Folin	Mango				
	maduro	Cáscara	0,8378	0,1891	Si
Folin	Mango				
	maduro	Semilla	0,9283	0,5847	Si
Flavonoides	Maracuyá	Cáscara	0,9363	0,632	Si
Flavonoides	Maracuyá	Semilla	0,9475	0,7007	Si
Flavonoides	Mango verde	Cáscara	0,8796	0,3368	Si
Flavonoides	Mango verde	Semilla	0,6826	0,0071	No
Flavonoides	Mango				
	maduro	Cáscara	0,8858	0,3642	Si
Flavonoides	Mango				
	maduro	Semilla	0,843	0,2044	Si

Nota. Se presentaron los valores del estadístico W y del valor de p obtenidos mediante la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar el supuesto de normalidad. Valores de $p > 0,05$ indican

que no se rechaza la hipótesis de normalidad. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

Los resultados presentados en la Tabla 4 indican que los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, cumplen los supuestos de normalidad ($p > 0,05$). Sin embargo, el análisis de flavonoides, únicamente semilla de mango verde presentó una distribución no normal ($W = 0,6826$; $p = 0,0071$).

Prueba de homogeneidad (Levene)

Tabla 5

Resultados de la prueba de homogeneidad de varianza de Levene para los compuestos fenólicos totales, flavonoides y antioxidantes.

Ensayo	p-valor	Homogeneidad
Folin	0,048	No
Flavonoides	0,286	Si
DPPH	0,106	Si

Nota. Se presentan los resultados de la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas. Valores de ($p > 0,05$) indican homogeneidad de varianzas. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

En la Tabla 5 los resultados mostraron que los análisis de flavonoides y capacidad antioxidante (DPPH) cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianza ($p > 0,05$). En contraste, los compuestos fenólicos totales presentaron heterogeneidad de varianza ($p = 0,048$), por lo que este supuesto no se cumplió. Con base en estos resultados, junto a los de la Tabla 4, se pudo seleccionar las pruebas estadísticas más adecuadas para cada variable.

Comparación estadística cáscara- semilla ANOVA, Welch.

Tabla 6

Comparación del contenido de compuestos fenólicos totales entre cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.

Cáscara vs semilla	Ensayo	Estadística	p-valor	Interpretación
Maracuyá	ANOVA	F= 918,39	< 0.001	Diferencia significativa
Mango maduro	ANOVA	F= 2137,34	< 0.001	Diferencia significativa
Mango verde	Welch	F= 96,62	0.0016	Diferencia significativa

Nota. Se presentan los resultados de la comparación entre cáscara y semilla para cada especie. Se aplicó ANOVA o ANOVA de Welch según el cumplimiento de los supuestos estadísticos. Valores ($p < 0,05$) indican diferencias estadísticamente significativas. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

En la Tabla 6 se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre cáscara y semilla en las tres especies ($p < 0,05$). En todos los casos, las semillas presentaron un contenido fenólico significativamente mayor que las cáscaras.

Tabla 7

Comparación del total de flavonoides entre cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.

Cáscara vs semilla	Ensayo	Estadística	p-valor	Interpretación
Maracuyá	ANOVA	F= 65,18	< 0.001	Diferencia significativa
Mango maduro	ANOVA	F=144,46	< 0.001	Diferencia significativa
Mango verde	Mann-Whitney	U= 16	0.0304	Diferencia significativa

Nota. Se presentan los resultados de la comparación entre cáscara y semilla para cada especie. Se aplicó ANOVA o la prueba de Mann-Whitney según el cumplimiento de los supuestos estadísticos. Valores ($p < 0,05$) indican diferencias estadísticamente significativas. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

En la Tabla 7 se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las tres comparaciones ($p < 0,05$). En maracuyá y mango maduro, las semillas presentaron un contenido significativamente mayor de flavonoides, que las cáscaras; mientras que en mango verde la mayor concentración se registró en la cáscara.

Tabla 8

Comparación de la actividad antioxidante entre cáscara y semilla de maracuyá, mango verde y mango maduro.

Cáscara vs semilla	Ensayo	Estadística	p-valor	Interpretación
Maracuyá	ANOVA	F= 809,14	< 0.001	Diferencia significativa
Mango verde	ANOVA	F= 11,7	0.0141	Diferencia significativa
Mango maduro	ANOVA	F= 116,95	< 0.001	Diferencia significativa

Nota. Se presentan los resultados de la comparación de la capacidad antioxidante entre cáscara y semilla para cada especie. Se aplicó ANOVA, con valores de ($p < 0,05$) indican diferencias estadísticamente significativas. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

La Tabla 8 se observaron diferencias significativas entre cáscara y semilla en las tres especies. En maracuyá y mango maduro, la capacidad antioxidante fue mayor en las semillas que en las cáscaras.

Las pruebas estadísticas aplicadas (ANOVA y Welch) demostraron diferencias significativas entre cáscara y semilla en los tres ensayos ($p < 0,05$), permitiéndonos rechazar la hipótesis nula de igualdad entre ambos tejidos.

Comparación global entre las seis muestras

Para realizar la comparación global de las seis muestras se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis, debido a que los datos no cumplieron en su totalidad los supuestos requeridos para aplicar pruebas paramétricas en todas las variables evaluadas.

Luego de encontrar diferencias significativas, se aplicó la prueba de post hoc Dunn con ajuste de Bonferroni para identificar las muestras que difieren.

Prueba de Kruskal–Wallis

Tabla 9

La prueba de Kruskal–Wallis para los tres ensayos evaluados.

Métodos	χ^2	p	Interpretación
Fenoles totales	22,41	0,00044	Diferencias significativas
Flavonoides	21,92	0,00054	Diferencias significativas
DPPH	21,23	0,00073	Diferencias significativas

Nota. Se presentaron los resultados de la prueba de Kruskal–Wallis para comparar las seis muestras evaluadas. Valores ($p < 0,05$) indican diferencias estadísticamente significativas.

Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

La Tabla 9 presenta los resultados de la prueba de Kruskal–Wallis aplicada de manera independiente a los tres ensayos evaluados. En los tres casos (compuestos fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre las seis muestras ($p < 0,05$), lo que indica que al menos una muestra difirió del resto para cada variable analizada. En consecuencia, se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Dunn con ajuste de Bonferroni para identificar las muestras que presentaban diferencias significativas entre sí.

Comparación de múltiples de Dunn

Tabla 10

Prueba de comparaciones múltiples de Dunn con ajuste de Bonferroni para el contenido de fenoles totales.

Comparación	P.adj	Significativo
Maracuyá–Cáscara vs Mango verde –Semilla	0,0206	Si
Maracuyá – Cáscara vs Mango maduro – Semilla	0,0009	Si
Mango maduro–Cáscara vs Mango maduro – Semilla	0,0206	Si

Nota. Se presentan únicamente las comparaciones múltiples que resultaron estadísticamente, significativas según la prueba de Dunn con ajuste por comparaciones múltiples. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

En la Tabla 10 se identifican diferencias significativas se observaron principalmente entre la semilla de mango maduro y las muestras con menor contenido fenólico, evidenciando que esta presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos entre todas las muestras evaluadas.

Tabla 11

Prueba de comparaciones múltiples de Dunn con ajuste de Bonferroni para el contenido de flavonoides.

Comparación	P.adj	Significativo
Maracuyá – Cáscara vs Mango verde – Cáscara	0,0009	Si
Mango verde – Cáscara vs Mango maduro – Cáscara	0,0206	Si
Maracuyá – Cáscara vs Mango maduro – Semilla	0,0206	Si

Nota. Se presentan únicamente las comparaciones múltiples estadísticamente significativas obtenidas mediante la prueba de Dunn. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

En la Tabla 11 las comparaciones significativas mostraron que la cáscara de mango verde presentó un contenido de flavonoides superior al de varias muestras, confirmando que la distribución de estos compuestos varió entre especies, tejidos y estado de maduración.

Tabla 12

Prueba de comparaciones múltiples de Dunn con ajuste de Bonferroni para el contenido de antioxidantes (DPPH)

Comparación	P.adj	Significativo
Maracuyá – Cáscara vs Mango verde – Cáscara	0,0009	Si
Mango verde – Cáscara vs Mango maduro – Cáscara	0,0206	Si
Maracuyá – Cáscara vs Mango maduro – Semilla	0,0343	Si

Nota. Se presentan únicamente las comparaciones múltiples estadísticamente significativas obtenidas media la prueba de Dunn. Elaborado por Alvarez,C. (2026) utilizando el software RStudio.

En la Tabla 12 se mostraron diferencias donde la capacidad antioxidante fue mayor en la cáscara de mango verde y menor en la cáscara de maracuyá, mientras que las demás comparaciones entre las demás muestras no mostraron diferencias estadísticas.

Correlación de Spearman

Con el fin de determinar la asociación entre las variables de estudio, se aplicó la prueba de correlación de Spearman entre el contenido de fenoles totales, flavonoides y la capacidad antioxidante (DPPH). Los coeficientes de correlación (ρ) y sus respectivos valores de p permitieron evaluar la fuerza y significancia de las relaciones observadas.

Tabla 13

Tabla de correlación de variables Spearman

Relación	ρ	p	Interpretación
Fenoles vs DPPH	0,62	0,00123	Correlación positiva moderada fuerte
Flavonoides vs DPPH	0,961	<0,001	Correlación muy fuerte
Fenoles vs Flavonoides	0,606	0,00171	Correlación positiva fuerte

Nota. Se presentan los coeficientes de correlación de Spearman (ρ) y sus correspondientes valores de p para evaluar la asociación entre el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y la capacidad antioxidante (DPPH). Elaborado por Alvarez, C. (2026) utilizando el software RStudio.

La Tabla 13 se observaron correlaciones positivas y significativas entre todas las variables evaluadas. La asociación más fuerte se registró entre flavonoides y capacidad antioxidante, seguida por las correlaciones entre fenoles y DPPH, y entre fenoles y flavonoides.

Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación, a partir de la cuantificación de compuestos fenólicos totales por el método de Folin-Ciocalteu, flavonoides totales por el método del Cloruro de Aluminio, y capacidad antioxidante mediante el ensayo de DPPH, en los extractos de cáscara y semilla de maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), mango verde y mango maduro (*Mangifera indica* L. variedad Tommy Atkins), procedentes de Ecuador, fueron analizados y comparados con estudios previos realizados en frutas ecuatorianas y de otros lugares del mundo, en función del tejido, la especie y el estado de maduración.

Contenido de compuestos fenólicos totales

Los resultados obtenidos mediante el método de Folin-Ciocalteu (Tabla 1) mostraron diferencias significativas entre tejidos, lo que permite cumplir con el primer objetivo de la investigación. Todas las semillas evaluadas presentaron un contenido fenólico significativamente mayor que las cáscaras ($p < 0.05$). En el caso del mango, la semilla de

mango maduro presentó el mayor contenido fenólico en la semilla (240,89 mg GAE/g PF), seguida de la semilla de mango verde (127,42 mg GAE/g PF), para maracuyá (101,65 mg GAE/g PF) superando ampliamente a las cáscaras (41 mg GAE/g PF). Esta diferencia tan marcada coincide con Soong & Barlow (2006) quienes demostraron que las semillas de mango y de otras frutas tropicales poseen una actividad antioxidante y un contenido fenólico significativamente más alto que sus porciones comestibles. Además, esta diferencia puede deberse a que el mango posee un mayor contenido de compuesto fenólicos como mangiferina y galotaninos (taninos hidrolizables), que poseen varios grupos hidroxilo por molécula, al interactuar con Folin – Ciocalteu, elevando sus valores (Lebaka *et al.*, 2021; Lenucci *et al.*, 2022). También Lourith & Kanlayavattanakul (2013) encontraron que los extractos de semilla de maracuyá (*P. edulis*) presentan una alta actividad asociada a compuestos fenólicos como el ácido clorogénico, el ácido rosmarínico y la quercetina. Aunque, maracuyá presenta un perfil fenólico dominado por flavonoides C-glicosilados y ácidos fenólicos, son potentes antioxidantes, no contribuyen a la cuantificación por Folin-Ciocalteu (Domínguez-Rodríguez *et al.*, 2019).

Además, Lebaka *et al.*, (2021) y Palafox-Carlos *et al.*, (2012) reportan que se puede destacar que sí existe un efecto ante la maduración del fruto, al comparar los valores de mango verde y mango maduro. Este comportamiento puede deberse a que en el proceso de maduración los metabolitos secundarios se redistribuyen de la cáscara hacia la semilla como parte del proceso de germinación, acumulando así, un mayor contenido de compuestos fenólicos, mientras que la cáscara presenta una degradación enzimática por polifenol oxidasa (PPO) y peroxidasa (POD) (Palafox-Carlos *et al.*, 2012) y (Lebaka *et al.*, 2021).

Análisis de Flavonoides

Los resultados obtenidos mediante el método de Cloruro de Aluminio (Tabla 2) permiten cumplir con el segundo objetivo de la investigación, donde existieron variaciones notables entre tejidos. En maracuyá, la semilla presentó un contenido de flavonoides de (0,082 mg QE/g PF),

mientras que la cáscara registró (0,041 mg QE/g PF), lo que indica que al igual que en los fenoles, esta especie, tiene mayor cantidad de flavonoides en semilla, (Ramos dos Reis *et al.*, 2018) menciona que esto es porque el maracuyá amarillo tiene gran cantidad significativa de flavonoides como quercetina y kaempferol. En el caso del mango verde, existen diferencias entre la cáscara (0,103 mg QE/g PF) y la semilla (0,07 mg QE/g PF.), sugiriendo que los flavonoides no son los únicos compuestos fenólicos presentes y que su distribución está influenciada por la exposición de la luz y factores ambientales en tejidos externos. Lebaka *et al.*, (2021) documentó que los flavonoides cumplen funciones sobre la protección contra la radiación ultravioleta y estrés oxidativo, por lo que implica el mayor contenido en cáscara.

El efecto de la maduración en el mango es evidente, en la cáscara encontramos que el contenido de flavonoides disminuyó (0,06 mg QE/g PF), esto es por el efecto de la maduración donde las enzimas oxidativas como el polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD) degradan flavonoides como la quercetina y el Kaempferol (Palafox-Carlos *et al.*, 2012) . En la semilla de mango, el comportamiento es totalmente opuesto los flavonoides aumentó de 0,07 mg QE/g PF en verde a 0,094 mg QE/g PF en maduro, este patrón es consistente con redistribución de metabolitos secundarios, donde la semilla acumula flavonoides como mecanismos de defensa.

Existen estudios previos donde encuentran mayor cantidad de flavonoides en mango, esto puede deberse a la metodología empleada, en Lenucci *et al.*, (2022) se trabajó con muestra seca y con catequina equivalente, mientras que en este estudio se trabajó con muestra fresca y con quercetina equivalente. Es importante señalar que el método de Cloruro de Aluminio es específico para flavonoides con grupos orto-hidroxilo en el anillo B Weyya *et al.*, (2024) por lo que, flavonoides como la mangiferina (xantona) no podrían ser cuantificados correctamente, lo que podría explicar los valores bajos obtenidos.

Se puede identificar a través de nuestros resultados que el mango verde tiene una gran cantidad de compuestos bioactivos, confirmando que la variedad Tommy Atkins es rica en flavonoides y lo convierte en un subproducto de interés para la obtención de compuestos

Evaluación de la capacidad antioxidante

Los resultados obtenidos mediante el método DPPH (Tabla 3) permiten cumplir con el tercer objetivo específico de la investigación. En la capacidad antioxidante hubo variaciones notables entre tejidos, especies y estados de maduración.

La cáscara de mango verde presentó mayor cantidad antioxidante de todas las muestras (0,511 mg ET/g PF). Esta coincidencia entre el alto contenido de flavonoides y alta capacidad antioxidante en esta muestra (0,103 mg QE/g PF vs. 0,511 mg ET/g PF) es consistente con una fuerte correlación positiva encontrada entre flavonoides y DPPH ($p = 0,96$, $p < 0,001$, Tabla 13), lo que indica que los flavonoides son los principales responsables de la actividad antioxidante en estos extractos. Esta relación puede explicarse por la estructura de los flavonoides que tiene grupos hidroxilo en posiciones orto-dihidroxilo en el anillo B, dándole una capacidad alta para donar electrones y estabilizar radicales libres (Lebaka *et al.*, 2021).

En el caso de maracuyá, la semilla (0,479 mg ET/g PF) presentó una capacidad antioxidante superior a la de la cáscara (0,123 mg ET/g PF), esto coincide con el estudio de Lourith & Kanlayavattanakul (2013) quienes encontraron que las semillas de maracuyá presentaban una alta capacidad antioxidante por la presencia de los compuestos fenólicos.

En el caso de la maduración del mango, se identificó que en cáscara la capacidad antioxidante se disminuyó de (0,511 mg ET/g PF) en verde a (0,434 mg ET/g PF) maduro. Esto lo explica Palafox-Carlos *et al.*, (2012) que observaron que la capacidad antioxidante de la cáscara de mango Ataulfo disminuye durante la maduración por la degradación enzimática. Al comparar semilla de mango maduro (0,501 mg ET/g PF), mango verde (0,486 mg ET/g PF) y semilla de maracuyá (0,501 mg ET/g PF) se observa que el mango supera a la maracuyá, esto puede deberse a la presencia de galotaninos y mangiferina que son compuestos de alta actividad antioxidante, que no están presentes en la maracuyá (Lenucci *et al.*, 2022). Además, de que los análisis realizados se hicieron a partir residuos agroindustriales, es posible que la

semilla de maracuyá, al ser procesada y dejado a temperatura ambiente por horas sus metabolitos secundarios hayan disminuido.

También cabe recalcar que los valores obtenidos en este apartado, son muy distintos a de otros estudios, esto puede deberse al tipo de muestra y metodología que se empleó durante la investigación. Reyna *et al.*, (2026) utilizaron extracción asistida por ultrasonido con hidroalcohol, además, de que su estudio se realizó en mangos del tipo Chico y grande, Miguelillo, Manga y Mantequilla.

Correlación entre fenoles, flavonoides y actividad antioxidante.

El análisis de correlación de Spearman (Tabla 13) mostró correlaciones positivas y significativas entre todas las variables evaluadas, lo que permite establecer relaciones cuantitativas entre los tres objetivos específicos de la investigación.

La asociación más fuerte se registró entre flavonoides y capacidad antioxidante ($p = 0,961$, $p < 0,001$), lo que indica una correlación positiva casi perfecta. Este resultado sugiere que los flavonoides son los principales contribuyentes a la actividad antioxidante en las muestras estudiadas y el método de DPPH es particularmente sensible a este tipo de compuestos. A diferencia entre la correlación de fenoles totales y DPPH ($p = 0,62$, $p = 0,00123$) que fue moderada, lo que sugiere que no todos los compuestos fenólicos son igualmente activos en el ensayo de DPPH. Lebaka *et al.*, (2021) y Lenucci *et al.*, (2022) mencionan que algunos compuestos fenólicos de alto peso molecular (taninos condensados y galotaninos) pueden reaccionar lentamente al radical del DPPH, o algunos compuestos fenólicos como los ácidos fenólicos simples, tienen menor capacidad antioxidantes, los cuales pudieron contribuir a esta diferencia.

La correlación entre fenoles totales y flavonoides ($p = 0,606$, $p = 0,00171$) fue moderada, lo que indica que los flavonoides representan solo una fracción de los compuestos fenólicos totales presentes en los extractos. Este hallazgo es consistente con la presencia de otros compuestos fenólicos como ácidos fenólicos, taninos y otros polifenoles que no se

pueden cuantificar a través del método de Cloruro de Aluminio. Lebaka *et al.*, (2021) y (Ramos dos Reis *et al.*, 2018) documentaron que las cáscaras y semilla de frutas tropicales contienen una amplia variedad de compuestos fenólicos, donde se encuentran ácidos fenólicos, flavonoides y polifenoles como la mangiferina en el caso de mango.

Salvatore *et al.*, (2022) encontró una correlación más fuerte entre fenoles totales y actividad antioxidante hidrofílica, esto puede retribuirse a las diferencias entre métodos de extracción (hidrólisis alcalina), además de diferentes ensayos (TEAC vs DPPH).

Capítulo V

Conclusiones

Los subproductos de mango y maracuyá son fuentes significativas de compuestos fenólicos totales, cuantificados mediante el método de Folin-Ciocalteu, destacando la semilla de mango maduro (240,89 mg GAE/g PF) y la semilla de maracuyá (101,65 mg GAE/g PF). En todas las muestras evaluadas, las semillas presentaron un contenido fenólico significativamente mayor que las cáscaras ($p < 0,05$). Las diferencias entre especies radica en la presencia de compuestos fenólicos específicos como mangiferina y galotaninos, que poseen múltiples grupos hidroxilo y reaccionan intensamente con el reactivo de Folin-Ciocalteu, en el caso del mango, mientras que en maracuyá presentan un perfil dominado por flavonoides C-glicosilados y ácidos fenólicos. Confirmando que los residuos agroindustriales, especialmente las semillas, constituyen una fuente concentrada de compuestos fenólicos con potencial para aplicaciones funcionales.

La cáscara de mango verde (0,103 mg QE/g PF) presentó el mayor contenido de flavonoides, cuantificados mediante el método de Cloruro de Aluminio, superando a la semilla de mango maduro (0,094 mg QE/g PF) y a ambos tejidos de maracuyá. La maduración del mango mostró un efecto diferencial en la cáscara, los flavonoides disminuyeron (de 0,103 a 0,06 mg QE/g PF), mientras que en las semillas aumentaron (de 0,07 a 0,094 mg QE/g PF), lo que evidencia redistribución de metabolitos secundarios durante el desarrollo del fruto. En el caso de la maracuyá, la semilla (0,082 mg QE/g PF) supero a la cáscara (0,041 mg QE/g PF).

La maduración del mango mostró una tendencia a disminuir la capacidad antioxidante en la cáscara (de 0,511 a 0,434 mg ET/g PF) y a incrementar ligeramente en semilla (de 0,486 a 0,501 mg ET/g PF). También, se identificó que la cáscara de mango verde presentó una mayor capacidad antioxidante en comparación a la cáscara de maracuyá. Estos resultados confirman que los subproductos de mango y maracuyá, especialmente la cáscara de mango

verde y semillas de ambas especies, son fuente prometedoras de antioxidantes naturales con potencial aplicación en las industrias alimentarias, cosmética y farmacéutica

Los residuos agroindustriales de mango y maracuyá de Ecuador constituyen fuentes promisorias de compuestos bioactivos con alto potencial fitoquímico y antioxidante. La semilla de mango maduro destacó por su alto contenido fenólico, la cáscara de mango verde por su riqueza en flavonoides y capacidad antioxidante, y la semilla de maracuyá por su perfil fitoquímico equilibrado y alta capacidad DPPH. Estudios previos (*Lenucci et al.*, 2022; *Reyna et al.*, 2026; *Vasco et al.*, 2008) confirman del gran potencial de estos subproductos evaluados, aun que todo depende de la selección de la especie y optimización del extracto, son factores clave para maximizar su rendimiento, y así reducir el impacto ambiental y generando valor agregado en la cadena productiva de frutas en Ecuador.

Recomendaciones

Completar los análisis espectrofotométricos con técnicas cromatográficas como HPLC-DAD o HPLC-QTOF-MS para identificar y cuantificar compuestos fenólicos individuales (mangiferina, ácido gálico, quercetina, isoorientina, entre otros). De esta forma se podrá establecer con mayor precisión la relación estructura-actividad y el perfil fitoquímico específico en cada subproducto.

Evaluar diferentes métodos de extracción (asistida por ultrasonido, microondas o fluidos supercríticos) y condiciones operativas (solventes, temperatura, tiempo, relación muestra-solvente) para maximizar la recuperación de compuestos bioactivos.

Ampliar el estudio a un mayor número de variedades de mango y maracuyá cultivadas en diferentes regiones de Ecuador para evaluar la variabilidad del potencial fitoquímico y antioxidante.

Referencias

- Acuña Velez Leticia Lisseth. (2018). *EFFECTO DE COMPUESTOS FENÓLICOS DE CÁSCARA Y PULPA DE MANGO (Mangífera indica L.) EN LA CONSERVACIÓN DE FILETES DE PESCADO ALBACORA, MANTA 2018*.
<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1660/1/ULEAM-AGROIN-0028.pdf>
- Aguiar, S., Enríquez Estrella, M., & Uvidia Cabadiana, H. (2022). Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, 1(27), 5–11.
<https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Alcantara, A., Mejía, A., Chávez, S., & Castillo, E. (2022). *Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su impacto en el medio ambiente*. Obtenido de Revista Científica OGOLL: <https://doi.org/10.54655/ogoll.v2i2.29>
- Argun, M., & Argun, S. (2025). *Principio de cero residuos para la industria de procesamiento de frutas: Recuperación, conversión avanzada y enfoques de revalorización*. Obtenido de Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714425003150>
- Alcalde, B., Granados, M., & Saurina, J. (2019). Exploring the antioxidant features of polyphenols by spectroscopic and electrochemical methods. *Antioxidants*, 8(11).
<https://doi.org/10.3390/antiox8110523>
- Arroyo Dávila, E. D. (2020). *Utilización de los subproductos de mango (Mangífera indica L.) con tecnología cero desechos para la elaboración de productos aplicados a la industria cosmética y alimenticia*. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9271>
- Cabrera, Alarcon, Mora, & Garcia. (2022). *Estudio comparativo de actividad antioxidante y microbiológica de la cascara de mangifera indica variedad Indio Tommy*. Obtenido de Reciamuc: [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(3\).julio.2022.441-448](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.441-448)
- Carrillo, L. (2024). *Evaluación del impacto socioambiental por la contaminación del botadero a cielo abierto de Curgua, cantón Guaranda*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28814>

- Cevallos, R., & Ramirez, E. (2023). *Modelo matemático para control de Lixiviados en tratamiento de desechos sólidos urbanos en un Municipio de Ecuador*. Obtenido de DESECHOS SOLIDOS BOTADORES DE BASURA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL LIXIVIADO: <https://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/7154>
- Chiriguayo Macías, L. E., & Ruiz Parrales, Y. (2021). *Producción del cultivo de maracuyá (Passiflora edulis) y su influencia económica en el Ecuador*.
- Domínguez, García, Plaza, & Marina. (2019). *Revalorization of Passiflora species peels as a sustainable source of antioxidant phenolic compounds*. Obtenido de ELSEVIER: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134030>
- Domínguez-Rodríguez, G., García, M. C., Plaza, M., & Marina, M. L. (2019). Revalorization of Passiflora species peels as a sustainable source of antioxidant phenolic compounds. *Science of the Total Environment*, 696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134030>
- Dos Santos, O. V., Vieira, E. L. S., Soares, S. D., da CONCEIÇÃO, L. R. V., Do Nascimento, F. D. C. A., & Teixeira-Costa, B. E. (2021). Utilization of agroindustrial residue from passion fruit (*Passiflora edulis*) seeds as a source of fatty acids and bioactive substances. *Food Science and Technology (Brazil)*, 41, 218–225. <https://doi.org/10.1590/fst.16220>
- El-Sayed, Abd-Elhalim, El-DougDoug, Gamal, El-Bana, & Mohamed. (2025). *In vitro investigation of Mangifera indica L. peel extracts: antibacterial, antioxidant, and docking studies*. Obtenido de AMB Express: <https://doi.org/10.1186/s13568-025-01882-w>
- Gavilánez, F., Morán, C., & Campoverde, G. (2022). *Impacto ambiental y emisión de metano del botadero de basura de Naranjito, Guayas – Ecuador*. Obtenido de Dialnet: <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/maracuya-oferta-duplica-143683.html>
- Fathi Hafshejani, S., Lotfi, S., Rezvannejad, E., Mortazavi, M., & Riahi-Madvar, A. (2023). Correlation between total phenolic and flavonoid contents and biological activities of 12 ethanolic extracts of Iranian propolis. *Food Science and Nutrition*, 11(7), 4308–4325. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3356>

- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. In *Processes* (Vol. 11, Number 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/pr11082248>
- He, X., Luan, F., Yang, Y., Wang, Z., Zhao, Z., Fang, J., Wang, M., Zuo, M., & Li, Y. (2020). *Passiflora edulis*: An Insight Into Current Researches on Phytochemistry and Pharmacology. In *Frontiers in Pharmacology* (Vol. 11). Frontiers Media S.A.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00617>
- Lebaka, V. R., Wee, Y. J., Ye, W., & Korivi, M. (2021). Nutritional composition and bioactive compounds in three different parts of mango fruit. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Number 2, pp. 1–20). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18020741>
- Lenucci, M. S., Tornese, R., Mita, G., & Durante, M. (2022). Bioactive Compounds and Antioxidant Activities in Different Fractions of Mango Fruits (*Mangifera indica* L., Cultivar Tommy Atkins and Keitt). *Antioxidants*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/antiox11030484>
- Lingaraju, H., Bharat, G., & Hubertwell, T. (2025). *Citrus Waste: A Sustainable Pathway to Value-Added Products – A Review*. Obtenido de JMES:
https://www.jmaterenvirosci.com/Document/vol16/vol16_N10/JMES-2025-1610102-Lingaraju.pdf
- Lourith, N., & Kanlayavattanakul, M. (2013). Antioxidant Activities and Phenolics of *Passiflora edulis* Seed Recovered from Juice Production Residue. In *J. Oleo Sci* (Vol. 62, Number 4).
<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/jos/http://mc.manuscriptcentral.com/jjocs>
- Malo, B. (2025). *Los volúmenes de mango en Ecuador serán aproximadamente un 15% menores*. Obtenido de Fresh Plaza: <https://www.freshplaza.es/spain/article/9791138/los-volumenes-de-mango-en-ecuador-seran-aproximadamente-un-15-menores/>

- Martín Gordo, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Martínez Morales Enith Salomé. (2016). *Calidad fenólica de los subproductos de mango*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Técnica Particular de Loja]. : <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/16165>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *Ecuador duplicó su producción de maracuyá en 2022*. Obtenido de CAMAE: <https://www.camae.org/ecuador/ecuador-duplico-su-produccion-de-maracuya-en-2022/>
- Morales, J. (2021). *Análisis hidrológico del lixiviado generado en el relleno sanitario del Cantón Gonzalo Pizarro, Ecuador*. Obtenido de Revista Ciencia UNEMI: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss38.2022pp24-33p>
- Mejía et al. (2007). *Dialnet-AprovechamientoDelResiduoAgroindustrialDelMangoCom-2576982*.
- Molina-Hernández, J. B., Martínez-Correa, H. A., Andrade-Mahecha, M. M., Molina-Hernández, J. B., Martínez-Correa, H. A., & Andrade-Mahecha, M. M. (2019). Potencial Agroindustrial del Epicarpio de Maracuyá como Ingrediente Alimenticio Activo. *Información Tecnológica*, 30(2), 245–256. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200245>
- Neyra, L. (2025). *Determinación de metabolitos secundarios, polifenoles y actividad antioxidante del extracto etanólico de las cáscaras del fruto de Corryocactus brevistylus “sanky”*. Obtenido de Repositorio Universidad Nacional San Luis de Gonzaga: <https://repositorio.unica.edu.pe/items/8eefcbd2-4ec1-4fbb-b33d-efc1004a23ee>
- ODS. (2023). *Objetivos de desarrollo sostenible Ecuador*. Obtenido de <https://www.odsecuador.ec/?p=821>
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2012). Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC–DAD–MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity

during ripening. *Food Chemistry*, 135(1), 105–111.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.04.103>

Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. In *Journal of Nutritional Science* (Vol. 5). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>

Pazmiño, J. (2020). *Revisión del uso de desechos de frutas de maracuyá i(Passiflora edulis), taxo (Passiflora tripartita), guanábana (Annona muricata), manzana (Malus domestica), y piña (Ananas comosus).*

Pękal, A., & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of Aluminium Complexation Reaction for Flavonoid Content Assay. *Food Analytical Methods*, 7(9), 1776–1782.

<https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>

Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). PHENOLIC COMPOUNDS IN FOOD ‡. In *Bolivian Journal of Chemistry* (Vol. 31, Number 2).

<http://www.bolivianchemistryjournal.org>, <http://www.scribd.com/bolivianjournalofchemistry>

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 71, Number 46, pp. 17543–17553). American Chemical Society.

<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>

Ramos dos Reis, L., Pesamosca, E., Salvaror, M., Hickmann, S., & De Oliveria, A. (2018). Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2679–2691.

<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3190-2>

Reyna, S., Córdoba, M. de G., Rivas, M. Á., Gudiño, I., Vázquez-Hernández, M., Otero-Tuárez, V., Domínguez, J., & Casquete, R. (2026). Valorization of Mango By-Products: Bioactive

- Potential of Peel and Seeds and Their In Vitro Bioavailability. *Molecules*, 31(9), 1462.
<https://doi.org/10.3390/MOLECULES31091462>
- Rivera, V. (2020). *Evaluación de la actividad antioxidante de los carotenoides presentes en tres variedades de cáscara de mango (Mangifera indica L.)*. Obtenido de Repositorio UCE:
<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/6d00be17-0d3c-4343-bb32-6385dc59421b>
- Salvatore, M., Tornese, R., Giovanni, M., & Durante, M. (2022). *Compuestos bioactivos y actividades antioxidantes en diferentes fracciones de frutos de mango (Mangifera indica L., cultivar Tommy Atkins y Keitt)*. Obtenido de National Library of Medicine:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8944460/>
- Samudin, M., A, A., & Nurhayati, Y. (2022). *Influence of Extraction Solvents on Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Passiflora edulis Sims Extract*. Obtenido de Journal of Agrobiotechnology.
- SALAZAR-LÓPEZ, N. J., ENRÍQUEZ-VALENCIA, S. A., ZUÑIGA MARTÍNEZ, B. S., & GUSTAVO A. GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. (2023). Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos. *EPISTEMUS*, 17(34).
<https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.265>
- Serna Cock, L., & Torres León, C. (2014). Agro industrial potential of peels of mango (Mangifera indica) Keitt and Tommy Atkins. *Acta Agronomica*, 64(2), 110–115.
<https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43579>
- Silva J., Azevedo E., & Lisboa C. (2021). CÁSCARAS Y SEMILLAS:: DIFERENTES APLICACIONES DE MARACUJÁ - AMARILLO (PASSIFLORA EDULIS F. FLAVICARPA DEG) RESIDUOS EN LA RAMA DE ALIMENTOS. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, 11(2), 25–28. <https://doi.org/10.18378/REBAGRO.V12I2.8740>

- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). *52 POLYPHENOLS AND FLAVONOIDS [14] [14] Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent.*
- Sogi, D. S., Siddiq, M., Greiby, I., & Dolan, K. D. (2013). Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of “Tommy Atkins” mango peel and kernel as affected by drying methods. *Food Chemistry*, 141(3), 2649–2655.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.053>
- Soong, Y. Y., & Barlow, P. J. (2006). Quantification of gallic acid and ellagic acid from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) seed and mango (*Mangifera indica* L.) kernel and their effects on antioxidant activity. *Food Chemistry*, 97(3), 524–530.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2005.05.033>
- Teneda, W. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59–72.
<https://doi.org/10.18359/RFCB.3108>
- Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). *APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/93892444/2874-libre.pdf?1667922854=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAprovechamiento_de_residuos_agroindustri.pdf&Expires=1778888077&Signature=WC6sfMiu9N6mDN6XDnjz-v0LGaDogdoneNj5jGxhV27LigftqdDesTyZn
- Vasco, C., Ruales, J., & Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4), 816–823.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>
- Vásquez, K., & Sáenz, C. (2020). *Utilización de los subproductos de mango (Mangifera indica L.) con tecnología cero desechos para la elaboración de productos aplicados a la industria*

cosmética y alimentaria . Obtenido de Repositorio Institucional USFQ:

<https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9271>

Weyya, G., Belay, A., & Tadesse, E. (2024). Passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) by-products as a source of bioactive compounds for non-communicable disease prevention: extraction methods and mechanisms of action: a systematic review. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 11). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1340511>

Yam Chan, J. G. &, & Peña Rodríguez, L. M. (2025). *Residuos agroindustriales: ¿Basura o fuente de oportunidades sostenibles?*

Yamauchi, M., Kitamura, Y., Nagano, H., Kawatsu, J., & Gotoh, H. (2024). DPPH Measurements and Structure—Activity Relationship Studies on the Antioxidant Capacity of Phenols. *Antioxidants*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/antiox13030309>