



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 20 de agosto de 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Manuel Felipe Garzón González, con C.C. No. 1079187298,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,
_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado "OBTENCIÓN DE COMPUESTOS CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL FRUTO DE LA
CURUBA (Passiflora sp.) MEDIANTE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDOS"

presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de

Ingeniero Agroindustrial _____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

[Firma manuscrita]

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Garzón González	Manuel Felipe

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Moreno Turriago	Liliana Marcela

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agroindustrial

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agroindustrial

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2024

NÚMERO DE PÁGINAS: 98 páginas

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros X

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

Lector de pdf y docx

MATERIAL ANEXO:

Tabla de compuestos fenólicos, resultados de curva de calibración para compuestos fenólicos y actividad antioxidante, códigos de MATLAB®, resultados de características morfológicas y fisicoquímicas, y certificados.

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

Meritoria

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Fruto de curuba</u>	<u>Fruit of curuba</u>	6. <u>Optimización</u>	<u>Optimization</u>
2. <u>Compuestos fenólicos</u>	<u>Phenolic</u>	7. _____	_____
3. <u>Actividad antioxidante</u>	<u>Antioxidant activity</u>	8. _____	_____
4. <u>Microencapsulación</u>	<u>Microencapsulation</u>	9. _____	_____
5. <u>Ultrasonidos</u>	<u>Ultrasonidos</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El fruto de curuba ha despertado interés debido a su alta concentración de compuestos fenólicos, comparables a otros frutos tropicales como la uva, fresa, guayaba y cacao, lo que sugiere beneficios potenciales para la salud y aplicaciones industriales. Para aprovechar estos compuestos y agregar valor al fruto, se evaluó la viabilidad técnica de obtener un extracto polifenólico en polvo apto para consumo humano. Se realizó una caracterización fisicoquímica para identificar compuestos fenólicos en la cáscara, pulpa y semillas del fruto en diferentes estados de madurez (verde, pintón y maduro). Los resultados confirmaron la presencia de compuestos fenólicos en todas las partes del fruto, destacando el estado pintón por su mayor concentración de estos compuestos bioactivos, lo que lo convierte en el punto óptimo de madurez para obtener un extracto rico en compuestos fenólicos. El proceso de extracción asistido por ultrasonidos de alta intensidad fue optimizado mediante la metodología de superficie de respuesta. Se evaluaron los efectos del tiempo y la temperatura de extracción en la concentración de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, utilizando etanol al 60% como solvente. Se encontró que tiempos de extracción prolongados a altas temperaturas reducen la actividad antioxidante, probablemente debido a la oxidación de los compuestos. Se desarrolló un modelo matemático de tercer grado para relacionar los parámetros del proceso con las variables respuesta. Las condiciones óptimas se determinaron a 70 °C y 17,258 minutos, obteniendo una alta concentración de TPC y actividad antioxidante. La microencapsulación alcanzó un rendimiento del 63,09% con alta actividad antioxidante.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Curuba fruit has attracted interest due to its high concentration of phenolic compounds, comparable to other tropical fruits such as grapes, strawberries, guavas and cocoa, suggesting potential health benefits and industrial applications. To take advantage of these compounds and add value to the fruit, it was evaluated the technical feasibility of obtaining a polyphenolic extract powder suitable for human consumption. A physicochemical characterization was carried out to identify phenolic compounds in the shell, pulp and seeds of the fruit at different stages of maturity (green, middle stage of maturity process (pinton) and ripe). The results confirmed the presence of phenolic compounds in all parts of the fruit, highlighting the middle state of maturity (pinton) for its higher concentration of these bioactive compounds, what makes it the optimum point of ripening to obtain an extract rich in phenolic compounds. The high intensity ultrasound-assisted extraction process was optimized by the response surface methodology. The effects of time and extraction temperature on phenolic compound concentration and antioxidant activity were evaluated using 60% ethanol as solvent. It was found that long extraction times at high temperatures reduce antioxidant activity, probably due to oxidation of the compounds. A third-degree mathematical model was developed to relate process parameters to response variables. The optimum conditions were determined at 70 °C and 17.258 minutes, obtaining a high concentration of TPC and antioxidant activity. The microencapsulation reached a 63.09% yield with high antioxidant activity.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma: *NATALIA PENTES*

Nombre Jurado: MSc. Natalia Puentes

Firma: *NATALIA PENTES*

Nombre Jurado: MSc. Andrés Felipe Bahamón Monje

Firma: *Andrés F Bahamón*

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

**OBTENCIÓN DE COMPUESTOS CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL FRUTO
DE LA CURUBA (*Passiflora* sp.) MEDIANTE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR
ULTRASONIDOS**



MANUEL FELIPE GARZÓN GONZALEZ

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
2024**

**OBTENCIÓN DE COMPUESTOS CON ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL FRUTO
DE LA CURUBA (*Passiflora* sp.) MEDIANTE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR
ULTRASONIDOS**

MANUEL FELIPE GARZÓN GONZALEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniería Agroindustrial

Asesor: LILIANA MARCELA MORENO TURRIAGO

NEIVA- HUILA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
2024

Nota de aceptación

Director: Ph.D. Liliana Marcela Moreno Turriago

Jurados

Jurado: MSc. Andrés Felipe Bahamón Monje

Jurado: MSc. Natalia Puentes.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi madre, cuyo amor incondicional y constante apoyo han sido mi mayor inspiración para seguir adelante en esta travesía académica.

Agradezco sinceramente a la señora Doris Llanos y a los agricultores de Algeciras, Huila, cuya colaboración fue fundamental para llevar a cabo este estudio.

Mi más profundo reconocimiento a la ingeniera Liliana Moreno por su invaluable apoyo y dedicación a lo largo de todo este proceso de investigación.

Asimismo, quiero expresar mi gratitud a cada uno de mis estimados docentes, cuya pasión y compromiso en la transmisión de conocimientos han sido fundamentales para alcanzar este logro académico.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a mi madre, mis abuelos, mi familia y amigos que me han acompañado incondicionalmente durante todo mi proceso de formación académica y desarrollo de este trabajo.

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Surcolombiana por brindarme esta invaluable oportunidad, así como a los docentes que me han acompañado a lo largo de esta importante etapa de aprendizaje académico. También agradezco a mis compañeros, con quienes compartí momentos gratos y trabajamos juntos para alcanzar nuestros objetivos académicos.

Al Herbario de la Universidad Surcolombiana SURCO por su valiosa colaboración en este proceso de investigación.

Mi más profundo agradecimiento a la ingeniera Liliana Moreno y al equipo de trabajo del laboratorio de Investigación del Centro de Formación Agroindustrial del SENA, por su dedicación y orientación durante todo el proceso investigativo. Su dedicación ha sido fundamental para el éxito de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
1. ANTECEDENTES.....	13
1.1 IMPORTANCIAS DEL SECTOR FRUTÍCOLA Y DE LAS PASIFLORAS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA.....	13
1.2 CURUBA.....	15
1.3 COMPUESTOS FUNCIONALES Y PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS DEL FRUTO DE LA CURUBA.....	17
1.4 COMPUESTOS FENÓLICOS.....	17
1.4.1 Cuantificación de compuestos fenólicos totales	20
1.5 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	20
1.5.1 Actividad antioxidante por DPPH	21
1.6 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS DE INTERÉS	21
1.6.1 Ultrasonidos de alta intensidad	22
1.6.2 Disolvente	23
1.7 MICROENCAPSULACIÓN Y OBTENCIÓN DE MICROCÁPSULAS DE COMPUESTOS FUNCIONALES	23
1.8 USOS Y APLICACIONES DE MICROCÁPSULAS DE COMPUESTOS FUNCIONALES.....	25
2. OBJETIVOS.....	26
2.1 OBJETIVO GENERAL	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
3. METODOLOGÍA.....	27
3.1 DETERMINACIÓN DE LA VARIEDAD Y CARACTERIZACIÓN DE LA CURUBA (<i>Passiflora</i> sp.)	29
3.1.1 Localización espacial	29

3.1.2	Adecuación de fruto de curuba	30
3.1.3	Caracterización morfológica y fisicoquímica de los frutos	31
3.2	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FENOLES TOTALES EN FRUTOS DE CURUBA EN DIFERENTES ESTADOS FISIOLÓGICOS DE MADURACIÓN.....	35
3.2.1	Preparación de muestras	36
3.2.2	Cuantificación de compuestos fenólicos totales	37
3.3	OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS DE INTERÉS.....	39
3.3.1	Extracción y cuantificación de compuestos	40
3.3.2	Actividad antioxidante	41
3.3.3	Microencapsulación de extractos polifenólicos	43
3.3.4	Caracterización de las microcápsulas	45
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1	Identificación de la especie de curuba (<i>Passiflora</i> sp.)	46
4.2	Resultados de los descriptores morfológicos y fisicoquímicos del fruto de curuba	47
4.2.1	Contenido de sólidos solubles de la pulpa	48
4.2.2	Acidez titulable de la pulpa.....	49
4.2.3	pH de la pulpa	50
4.2.4	Índice de madurez.....	50
4.3	Determinación de compuestos fenólicos totales (TPC) en los distintos estados de madurez y parte del fruto	51
4.4	Optimización del proceso de extracción de compuestos fenólicos usando ultrasonidos de alta intensidad	55
4.4.1	Contenidos compuestos fenólicos totales (TPC).....	55
4.4.2	Actividad antioxidante	56
4.4.3	Implementación de modelo matemático.....	57

4.4.4	Deseabilidad global para maximización del punto óptimo de TPC y AA en función de la temperatura y tiempo de extracción.....	62
4.5	Obtención y caracterización de microcápsulas de polifenoles mediante secado por aspersión	64
4.5.1	Rendimiento del proceso.....	64
4.5.2	Caracterización y validación de las microcápsulas	66
5.	CONCLUSIONES	69
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
7.	ANEXO	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición Química de la curuba.....	16
Tabla 2. Actividad antioxidante y cuantificación de los Polifenoles Totales en las distintas partes del fruto de curuba	18
Tabla 3. Descriptores morfológicos y fisicoquímicos del fruto de curuba	31
Tabla 4. Diseño experimental factorial para cuantificación de fenoles totales..	35
Tabla 5. Preparaciones de disoluciones de etanol al 60% y de solución madre	37
Tabla 6. Parámetros de los distintos tratamientos a elaborar según el Diseño Central Compuesto utilizando el programa MATLAB®	40
Tabla 7. Preparación de disoluciones de etanol al 60% y de solución madre ..	41
Tabla 8. Formulación empleada para la preparación de la mezcla de alimentación en equipo Spray Drying	43
Tabla 9. Parámetros de secado de microcápsulas de polifenoles por Spray Drying	44
Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos de la curuba (medias $\pm$ error estándar)..	48
Tabla 11. Contenido de TPC en base seca en las distintas partes del fruto y estados de madurez. Pruebas de Múltiple Rangos para TPC con 95% de confianza de Tukey HSD (medias $\pm$ error estándar)	51
Tabla 12. Contenido de TPC y actividad antioxidante en tratamientos de extracción ultrasonidos de alta intensidad	55
Tabla 13. Modificaciones de los parámetros de secado de las microcápsulas de polifenoles por atomización	64
Tabla 14. Caracterización de las microcápsulas de polifenoles	66

RESUMEN

El fruto de curuba ha ganado atención por su elevada concentración de compuestos fenólicos comparable con otros frutos tropicales como la uva, fresa, guayaba y cacao, lo cual le brinda potenciales beneficios para la salud y aplicaciones en diversas industrias. Con el propósito de aprovechar estos compuestos y darle mayor valor agregado al fruto de curuba, se determinó la viabilidad técnica de obtener un extracto polifenólico en polvo apto para el consumo humano. Se realizó una caracterización fisicoquímica para evaluar la presencia de compuestos fenólicos en cáscara, pulpa y semillas del fruto en diferentes estados de madurez fisiológica (verde, pintón y maduro), los resultados confirmaron la presencia de compuestos fenólicos en todas las partes del fruto en todos los estados de madurez, sin embargo, el estado pintón presentó la mayor concentración de estos compuestos bioactivos, lo que lo convierte en el punto óptimo de madurez para la obtención de un extracto con elevado contenido de compuestos fenólicos. Se estudió el proceso de extracción asistido por ultrasonidos de alta intensidad y los parámetros experimentales se optimizaron utilizando la metodología de superficie de respuesta. Se evaluó el efecto del tiempo y la temperatura de extracción en la concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante usando etanol al 60% como solvente, encontrando que tratamientos a temperaturas elevadas (70 °C) con tiempos de extracción prolongados (45 min) mostraron una menor actividad antioxidante en comparación con tratamientos a la misma temperatura, pero con tiempos de extracción más cortos, esto sugiere que temperaturas elevadas combinadas con largos periodos de extracción podrían causar una reducción significativa en la actividad antioxidante debido a la oxidación de los compuestos. Se obtuvo un modelo matemático polinomial de tercer grado para TPC con un ajuste del 88,68% para relacionar los parámetros del proceso con las variables respuesta utilizando la herramienta Curve Fitting Toolbox de MATLAB®. Las condiciones óptimas de extracción por ultrasonidos de alta intensidad se determinaron a una temperatura de 70 °C y un tiempo de 17,258 minutos para obtener una concentración máxima de TPC de 14338,8 mg GAE/100 g y una actividad antioxidante máxima de 21943,8 $\mu\text{mol Trolox/ 100 g}$. El proceso de microencapsulación alcanzó un rendimiento del 63,09% y una actividad antioxidante de $21349,98 \pm 814,95 \mu\text{mol Trolox/ 100 g}$, los resultados obtenidos abre oportunidades en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica para la elaboración de productos con mayor valor nutricional y vida útil.

ABSTRACT

The curuba fruit has gained attention for its high concentration of phenolic compounds comparable to other tropical fruits such as grapes, strawberries, guava, and cocoa, which provides potential health benefits and applications in various industries. With the purpose of taking advantage of these compounds and giving greater added value to the curuba fruit, it was determined the technical viability of obtaining a polyphenolic powder extract suitable for human consumption. It was carried out a physicochemical characterization to evaluate the presence of phenolic compounds in the peel, pulp, and seeds of the fruit in different states of physiological maturity (green, medium state of maturity and ripe). The results confirmed the presence of phenolic compounds in all parts of the fruit and in all stages of maturity. However, the fruit in medium state of maturity presented the highest concentration of these bioactive compounds, which makes it the optimal point of maturity for obtaining an extract with a high content of phenolic compounds. The high-intensity ultrasound-assisted extraction process was studied, and the experimental parameters were optimized using the response surface of methodology. The effect of extraction time and temperature in the concentration of phenolic compounds and antioxidant activity was evaluated using 60% ethanol as a solvent. From which, it was found that treatments at elevated temperatures (70 °C) with long extraction times (45 min) showed lower antioxidant activity compared to treatments at the same temperature, but with shorter extraction times. This suggests that elevated temperatures combined with long extraction periods could cause a significant reduction in the antioxidant activity due to oxidation of the compounds. A third-degree polynomial mathematical model was obtained for TPC with a fit of 88.68% to relate the process parameters with the response variables, using the MATLAB Curve Fitting Toolbox. The optimal extraction conditions by high-intensity ultrasonic were determined at a temperature of 70 °C and a time of 17.258 minutes to obtain a maximum TPC concentration of 14338.8 mg GAE/100 g and a maximum antioxidant activity of 21943.8 μmol . Trolox/ 100 g. The microencapsulation process achieved a yield of 63.09% and an antioxidant activity of 21349.98 ± 814.95 μmol Trolox/ 100 g. The results obtained, open opportunities in the food, cosmetic and pharmaceutical industries for production of products with greater nutritional value and shelf life.

INTRODUCCIÓN

La cadena productiva de las pasifloras es un subsector frutícola de gran relevancia económica en el departamento del Huila, situándose en el segundo puesto en términos de producción a nivel nacional. Con el propósito de fortalecer y mejorar la competitividad agrícola, tanto entidades gubernamentales como privadas han fomentado activamente el desarrollo de la agroindustria regional, a través de investigaciones e innovaciones enmarcadas en la cadena productiva de las pasifloras. Una de las iniciativas más destacadas fue liderada por la Corporación CEPASS (Centro de Desarrollo Tecnológico de la cadena de las pasifloras) en colaboración con la Universidad Javeriana enfocada en la certificación de semillas de pasifloras; sin embargo, este proyecto no incluyó el fruto de la curuba, afectando negativamente su competitividad en el mercado, el cual ya es incipiente frente a las demás pasifloras debido a su sabor astringente. A pesar de su baja rotación comercial, la curuba representa una gran oportunidad para la extracción y recuperación de compuestos funcionales y nutraceuticos como los polifenoles totales, que, gracias a las tendencias del mercado, se han convertido en un ingrediente de alto valor agregado ya que pueden emplearse en suplementos alimenticios que pueden reducir el daño oxidativo e incorporarse como bioconservantes en varias matrices alimentarias.

Los compuestos funcionales y nutraceuticos se encuentran presente en las distintas partes del fruto de curuba en cantidades significativas, lo que permitiría el aprovechamiento de los subproductos en la recuperación de compuestos de interés con técnicas de extracción de bajo impacto ambiental como los ultrasonidos de alta intensidad considerando el efecto de la temperatura y del tiempo sobre la actividad antioxidante y la concentración de los polifenoles totales presentes.

Con el objetivo de facilitar la extracción, conservación y aplicación de los polifenoles en diversas matrices alimentarias, se propone aplicar un proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión, que asegure que estos compuestos de interés sean aptos para el consumo, además de tener en cuenta las distintas normativas que garantizan la aplicación de las buenas prácticas de manufactura a lo largo de los distintos procesos.

1. ANTECEDENTES

1.1 IMPORTANCIAS DEL SECTOR FRUTÍCOLA Y DE LAS PASIFLORAS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA

Para el 2022 la agricultura, ganadería y pesca representaron el 22,2% del PIB (Producto Interno Bruto) del departamento del Huila (Ministerio de Comercio, 2024) donde jugaron un papel muy importante los cultivos agrícolas como el café, el arroz, la caña de azúcar y las pasifloras con una participación del 70,51%, demostrando así su importancia en el desarrollo económico de la región. En el caso de las pasifloras, el Huila cuenta con el mayor número de hectáreas sembradas, ocupa el segundo puesto en la producción nacional siendo superado por el Departamento de Antioquia (Minagricultura, 2021). Adicionalmente, teniendo en cuenta la base de datos Agronet, en el año 2020, las pasifloras tuvieron una participación frente a la producción total agrícola del Departamento del Huila del 3,04% y un 0,83% de la totalidad del área sembrada, cifras que, al ser comparadas con otros cultivos agrícolas, pueden ser consideradas como significativas (Agronet MinAgricultura, b).

Figura 1. Participación de la producción del fruto de curuba en diferentes departamentos año 2020



Nota. Adaptado de Agronet, 2020.

Dado que el sector frutícola, en especial las pasifloras, es de gran importancia económica en el departamento, en el 2007 se creó la Corporación CEPASS, una organización encargada de asesorar a los productores para brindar soluciones tecnológicas a las distintas problemáticas y mejorar la competitividad de este subsector frutícola (Meek & Aldana, 2012). La corporación CEPASS desde el 2017 viene trabajando junto a la Universidad Javeriana en la obtención de semillas de calidad de granadilla, maracuyá, gulupa y cholupa, con el propósito

de obtener semillas y plántulas certificadas, factor que desfavorece la competitividad en el mercado de otras especies de pasifloras como lo son la curuba (Vargas, 2018).

Con base a los datos del DANE del “Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA)” de las series históricas precios mayoristas del año 2022, la curuba presenta un precio promedio por kilogramo bajo a comparación de las otras pasifloras (DANE, 2022). Por otro lado, el Departamento del Huila, a nivel nacional, ocupó el cuarto lugar, en el 2020, en la participación de la producción del fruto de curuba con un porcentaje del 1,54%, siendo considerablemente bajo (figura 1) (Agronet MinAgricultura, a).

La curuba no es considerada un fruto muy apetecido en el mercado, por su sabor astringente, generado por el elevado contenido de fenoles oligoméricos (Restrepo et al., 2012), sin embargo, su principal preparación en los hogares es en forma de sorbete con leche, aunque se han propuesto algunos usos alternos como la elaboración de bebidas fermentadas, néctar y mermelada. Por otro lado, existen algunas investigaciones, donde se propone el uso de ceras para aumentar su tiempo de vida útil en anaquel y mejor su nivel de comercialización (Ojasild, 2009; Téllez et al., 2007).

Es importante resaltar que en los últimos años el gobierno Departamental viene incentivando el desarrollo de la agroindustria, la apertura de mercados de exportación y el desarrollo e implementación de ciencia, tecnología e innovación en los distintos eslabones de las cadenas productivas (Meek & Aldana, 2012).

Todas estas iniciativas buscan principalmente fortalecer la agricultura, sin embargo, es fundamental que vayan acompañadas de propuestas que generen valor agregado, permitan un mayor aprovechamiento de los recursos y se desarrollen en el mismo territorio. Con lo anterior se busca lograr que en el Departamento del Huila, no solo se produzca materia prima, sino que también se participe en las diferentes actividades de transformación, que generen beneficios adicionales, teniendo en cuenta que entre un 30% a 40% de los cultivos frutales, en el Departamento, se pierden en procesos de cosecha, poscosecha, transporte y malas prácticas agrícolas y de manufactura (Quimbaya, 2012).

Entre los trabajos de investigación llevados a cabo en la Universidad Surcolombiana relacionados con la curuba se encuentran estudios de manejo postcosecha y de mercado en el municipio de La Plata-Huila (Alvira, 1993; Angel, 1995). Además, se han realizado investigaciones sobre la calidad y almacenamiento de la pulpa, la extracción de aceites esenciales para el desarrollo de un simulador de laboratorio y la obtención de pectinas, estas

iniciativas buscan explorar nuevos enfoques en el uso de la curuba, pero no aprovechan plenamente el potencial de sus compuestos fenólicos (Barbosa & Covaleda, 2021; Barrera, 1996; Cuy & Rodríguez, 2021). Entre otros proyectos se encuentra la elaboración de vinos y néctares por parte de la Universidad Nacional, los cuales aprovechan la pulpa de curuba, pero generan subproductos (Ojasild, 2009; Soto et al., 2021).

Se ha realizado la caracterización nutricional y antioxidante de la fruta de curuba larga por parte de la Universidad de Antioquia, demostrando la presencia de compuestos fenólicos y catalogándola con un gran potencial agroindustrial (Chaparro et al., 2015). Además, en los últimos años, la Universidad Surcolombiana ha mostrado interés en el estudio de los compuestos polifenólicos presentes en la pulpa de café, la uva y la sábila, iniciativas que están alineadas con el desarrollo del proyecto (Bahamón, 2022; Martínez & Ruiz, 2022; Pastrana, 2004). Esta investigación no solo buscó establecer el contenido de compuestos fenólicos en el fruto de la curuba, sino también caracterizar las distintas partes del fruto en diferentes estados de madurez, con el propósito de obtener la máxima concentración de compuestos de interés que fueran aptos para el consumo humano.

A nivel de Latinoamérica, se han llevado a cabo varios estudios sobre el contenido de compuestos fenólicos en la curuba, como los realizados en Perú por Gupioc (2022), no obstante, es importante tener en cuenta que las características fisicoquímicas de las frutas presentan una alta variabilidad, ya que su comportamiento está estrechamente relacionado con su naturaleza intrínseca.

1.2 CURUBA

Figura 2. Bejuco de curuba



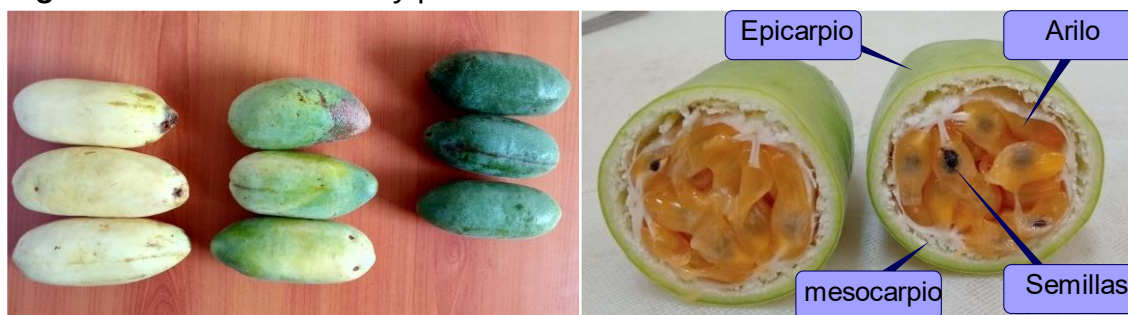
Es una planta del género *Passiflora* y del subgénero *Tacsonia* nativa de los Andes, se caracteriza por ser un bejuco semileñoso de hábito trepador, con zarcillos en forma de espiral que le permiten adherirse y sostenerse en su entorno. Sus flores, hermafroditas y sin fragancia, destacan por su colorido y vistosidad. El fruto de la curuba varía en forma y color dependiendo de la variedad, presentándose como oblongo, redondo o alargado, y adquiriendo tonalidades amarillas o rojizas al madurar. En su interior, alberga numerosas semillas cubiertas por un arilo de color naranja (Instituto Colombiano Agropecuario ICA et al., 2012).

Tabla 1. Composición Química de la curuba

Composición	Contenido (100 g de la parte comestible)
Agua (g)	92
Proteína	0,6
Grasa (g)	0,1
Carbohidratos (g)	6,3
Fibra (g)	0,3
Ceniza (g)	0,7
Calcio (mg)	4
Fósforo (mg)	2
Hierro (mg)	0,4
Vitamina A (U.I)	1700
Riboflavina (mg)	0,03
Niacina (mg)	2,5
Ácido Ascórbico (VH.C mg)	70
Calorías	25

Nota. Adaptado de Manejo poscosecha y evaluación de la calidad en curuba (*Passiflora mollissima*) que se comercializa en la ciudad de Neiva, Reinara, C., 1995, Universidad Surcolombiana, Neiva.

Figura 3. Fruto de curuba y parte del fruto



1.3 COMPUESTOS FUNCIONALES Y PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS DEL FRUTO DE LA CURUBA

En vista de la importancia del subsector frutícola de la pasiflora en el Huila y las iniciativas que buscan mejorar la competitividad de la agricultura, se puede considerar que este subsector tiene una gran oportunidad en el aprovechamiento de sus propiedades y compuestos nutraceuticos (Parra, 2012). Los cuales se definen como sustancias químicas que se encuentran en los alimentos y que presentan beneficios para la salud incluyendo prevención y/o tratamiento de enfermedades (Carvajal et al., 2014; Chopra et al., 2022).

En este orden de ideas, se estima que el fruto de curuba tiene un gran potencial funcional, ya que, en la medicina tradicional, se le ha considerado un remedio efectivo que ayuda a mejorar el sistema nervioso, actúa como sedante y contra el insomnio, tiene capacidades de calmar el dolor, disminuir la presión arterial, entre otros beneficios (Restrepo et al., 2012). Asimismo, sus compuestos funcionales se han estudiado ampliamente denominando este fruto como un alimento quimiopreventivo contra el cáncer colorrectal (Chaparro-Roja et al., 2015). Adicionalmente, se han realizado diversos estudios del contenido polifenoles y su actividad antioxidante en diferentes variedades de curuba, demostrando la presencia de estos compuestos distribuidos en todo el fruto (semillas, pulpa y cáscara). Sin embargo, se ha considerado que el contenido de polifenoles y de la actividad antioxidante pueden variar por una serie de condiciones, ya sea por el origen del fruto, la variedad, el manejo de los cultivos o por la parte del fruto, entre otros factores (Tabla 2) (Ballesteros-Vivas et al., 2019; Contreras-Calderón et al., 2011; Simiriotis et al., 2013).

1.4 COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas, la mayoría de estos compuestos surgen a partir de la fenilalanina y de la vía del ácido shikímico. Tienen la capacidad de inhibir radicales libres y quelar iones metálicos, por lo tanto, han sido objeto de un creciente interés científico debido a sus efectos beneficiosos sobre la salud humana (Quiñones et al., 2012). Estos compuestos se caracterizan por tener una estructura molecular que incluye uno o varios anillos aromáticos, así como uno o más grupos hidroxilo (-OH). Existen varias clases y subclases de polifenoles definidas en función de su estructura y los elementos estructurales presentes en estos anillos. Los principales grupos de compuestos fenólicos son los ácidos fenólicos, estilbenos, lignanos, flavonoides, taninos (Pandey & Rizvi, 2009).

Tabla 2. Actividad antioxidante y cuantificación de los Polifenoles Totales en las distintas partes del fruto de curuba

Referencia	Partes del fruto	Compuestos fenólicos totales (TPC)	Método de extracción
Passiflora tarminiana			
Contreras-Calderón et al., 2011	Cáscara	288 ± 8,41 mg de GAE/100 g de peso fresco	Agitación con metanol ácido-agua (50:50, v/v pH 2)
Contreras-Calderón et al., 2011	Pulpa + semillas	1018 ± 14,5 mg de GAE/100 g de peso fresco	
Passiflora tripartita			
Simirgiotis et al., 2013	Cáscara	56,03 ± 4,34 mg de GAE/100 g de peso seco	Baño de ultrasonidos (25 °C, 40 Hz), durante una hora con metanol-agua 7:3 v/v
Simirgiotis et al., 2013	Ppulpa + jugo	22,57 ± 1,43 mg de GAE/100 g de peso seco	
Passiflora mollissima			
Vasco et al., 2008	-	1010 ± 198 mg de GAE/100 g de peso fresco	agitación continua durante 1h, con metanol: agua (50:50 v/v)
Contreras-Calderón et al., 2011	Pulpa + semillas	635 ± 2,71 mg de GAE/100 g de peso fresco	Agitación con metanol ácido-agua (50:50, v/v pH 2)
Contreras-Calderón et al., 2011	Cáscara	246 ± 8,22 mg de GAE/100 g de peso fresco	
Ballesteros-Vivas et al., 2019	Semillas	29,99 ± 0,58 mg de GAE/g de peso seco	Extractor Acelerado Con Disolventes Dionex

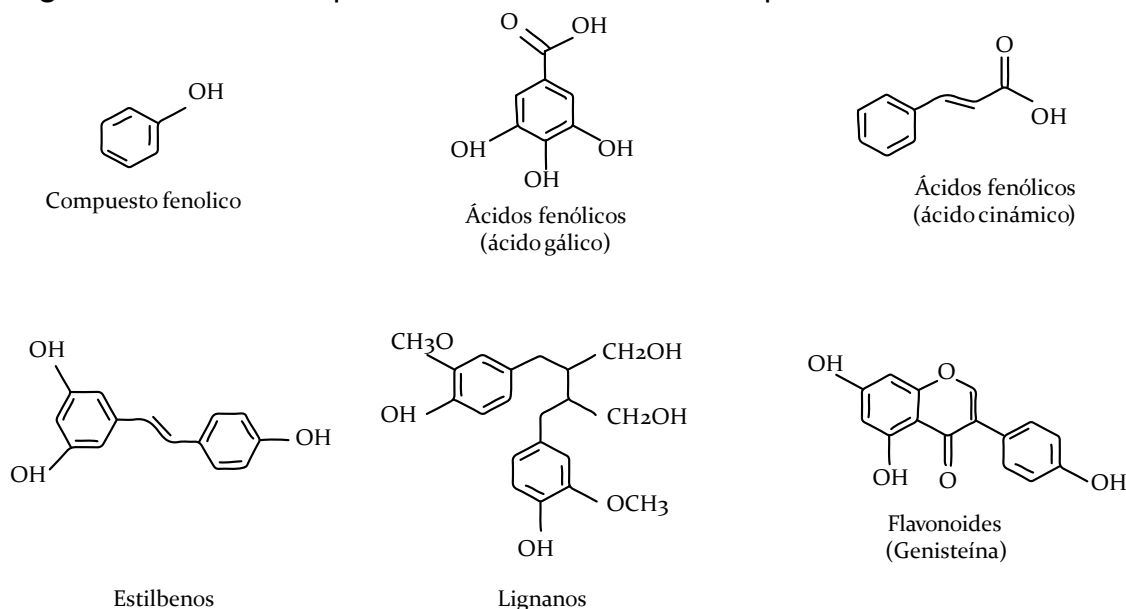
Los ácidos fenólicos se caracterizan por tener un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo unidos a él, constituyen aproximadamente un tercio de los fenoles y se clasifican en dos subgrupos: ácidos hidroxibenzoicos (como el ácido gálico) y ácidos hidroxicinámicos (como el ácido ferúlico) (Ignat et al., 2011). Los

estilbenos están formados principalmente por dos anillos de benceno unidos por un puente de metileno de dos carbonos, la mayoría de los estilbenos de las plantas actúan como fitoalexinas antifúngicas, compuestos que se sintetizan solo en respuesta a una infección o lesión (Ignat et al., 2011). Los lignanos se forman a partir de la unión de dos unidades fenólicas a través de una cadena de propano, son de considerable interés debido a sus potenciales aplicaciones en la quimioterapia contra el cáncer y otros efectos farmacológicos (Ignat et al., 2011).

Los flavonoides constituyen una amplia clase de compuestos polifenólicos distribuidos en gran medida en el reino vegetal, muchos de ellos son responsables de los llamativos colores presentes en las flores, frutas y hojas de diversas plantas. Su estructura básica consiste en dos anillos aromáticos unidos por tres átomos de carbono, según la estructura y la presencia de ciertos grupos funcionales en la molécula, los flavonoides se clasifican en seis subclases: flavonoles, flavonas, flavanonas, flavonoides, antocianinas e isoflavonas (Pandey & Rizvi, 2009).

Los taninos son un tipo de compuesto fenólico que se caracteriza por su estructura compleja. Se clasifican en dos categorías principales: taninos hidrolizables y taninos condensados. Los taninos hidrolizables se componen de unidades de ácidos fenólicos unidos a polialcoholes, los taninos condensados son polímeros de flavonoides, estos flavonoides se forman por la condensación de unidades de catequina o epicatequina (Ignat et al., 2011).

Figura 4. Estructuras químicas de los diferentes compuestos fenólicos



Nota. El ácido cinámico se clasifica como un compuesto fenólico y forma parte del grupo de ácidos fenólicos, sin embargo, no se considera un polifenol debido a que contiene un solo grupo hidroxilo (-OH) en su estructura molecular.

Por otro lado, los polifenoles, considerados un subgrupo de los compuestos fenólicos, se caracterizan por poseer uno o varios anillos aromáticos y varios grupos hidroxilo (-OH). Los polifenoles están presentes tanto en los ácidos fenólicos (como el ácido gálico) como en los flavonoides.

En el caso del fruto de la curuba, se han identificado diversos compuestos fenólicos en sus distintas partes mediante técnicas de espectrometría. En la cáscara y la pulpa de los frutos cultivados en Chile, se lograron identificar 31 compuestos, entre los que destacan las flavonas C-glicosilo y las flavonas O-glicosilo (anexo 1) (Simirgiotis et al., 2013). Por otro lado, en las semillas del fruto proveniente de Cundinamarca, se identificaron 61 compuestos fenólicos, siendo los principales compuestos el flavan-3-oles y las proantocianidinas (anexo 2) (Ballesteros-Vivas et al., 2019).

1.4.1 Cuantificación de compuestos fenólicos totales

El método de Folin-Ciocalteu se fundamenta en la reacción entre los compuestos fenólicos presentes en la muestra y el reactivo de Folin-Ciocalteu. Esta interacción da lugar a la formación de un complejo de color azul, cuya intensidad puede ser medida mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 765 nm. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene tungstato de sodio y molibdato de sodio, los cuales reaccionan con diversos tipos de fenoles, generando el mencionado complejo azul, esta coloración resulta proporcional a la cantidad de compuestos fenólicos totales presentes en la muestra, lo que permite su cuantificación de manera precisa y fiable (Singleton et al., 1999).

1.5 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Los antioxidantes abarcan un conjunto de compuestos, tanto químicos como biológicos, que contrarrestan de manera directa o indirecta los efectos de los radicales libres, se clasifican según su origen en antioxidantes endógenos y antioxidantes exógenos. Los antioxidantes endógenos incluyen enzimas, proteínas y polipéptidos que se sintetizan en la célula, mientras que los antioxidantes exógenos son moléculas que provienen de la dieta (Alanoca Coaquira, 2014).

Según su naturaleza puede ser agrupados en antioxidante enzimáticos o antioxidantes no enzimáticos. Los antioxidantes enzimáticos comprenden varias enzimas que catalizan la degradación sucesiva de los radicales libres, convirtiéndolos en estructuras químicas menos agresivas, los antioxidantes no enzimáticos son moléculas capaces de neutralizar los radicales libres sin participar directamente en una reacción catalítica, estos compuestos se

encuentran tanto de manera endógena en el organismo humano como en la dieta, a través de diversos alimentos. (González-Urbaneja, 2006).

Los compuestos fenólicos, adquiridos a través de la dieta, han sido reconocidos por su potente capacidad antioxidante en los sistemas biológicos, en el caso particular de los flavonoides, su actividad antioxidante supera notablemente la de las vitaminas C y E. A pesar de que el cuerpo humano cuenta con la capacidad de producir antioxidantes endógenos como la catalasa, la ingesta de compuestos fenólicos sigue siendo crucial para el organismo. Estos compuestos no solo poseen la capacidad antioxidante para contrarrestar los radicales libres, sino que también participan en la quelación de metales y en la activación de enzimas antioxidantes. Además de sus propiedades antioxidantes, los compuestos fenólicos han demostrado efectos beneficiosos en la salud, incluyendo efectos antidiabéticos, anticancerígenos y cardioprotectores (Fernandez-Pancho et al., 2008).

1.5.1 Actividad antioxidante por DPPH

Este método se basa en la capacidad de los compuestos fenólicos para donar un electrón o un hidrógeno al radical DPPH, lo que resulta en la decoloración del radical. La medida de esta decoloración se correlaciona con la capacidad del compuesto para neutralizar los radicales libres. El DPPH es un radical libre estable con un color violeta cuya absorbancia se mide espectrofotométricamente a una longitud de 517 nm. La reacción entre los compuestos fenólicos y el radical DPPH conduce a una disminución del color violeta intenso del DPPH a un tono amarillo pálido, lo que se puede cuantificar mediante la espectrofotometría (Brand-Williams et al., 1995).

1.6 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS DE INTERÉS

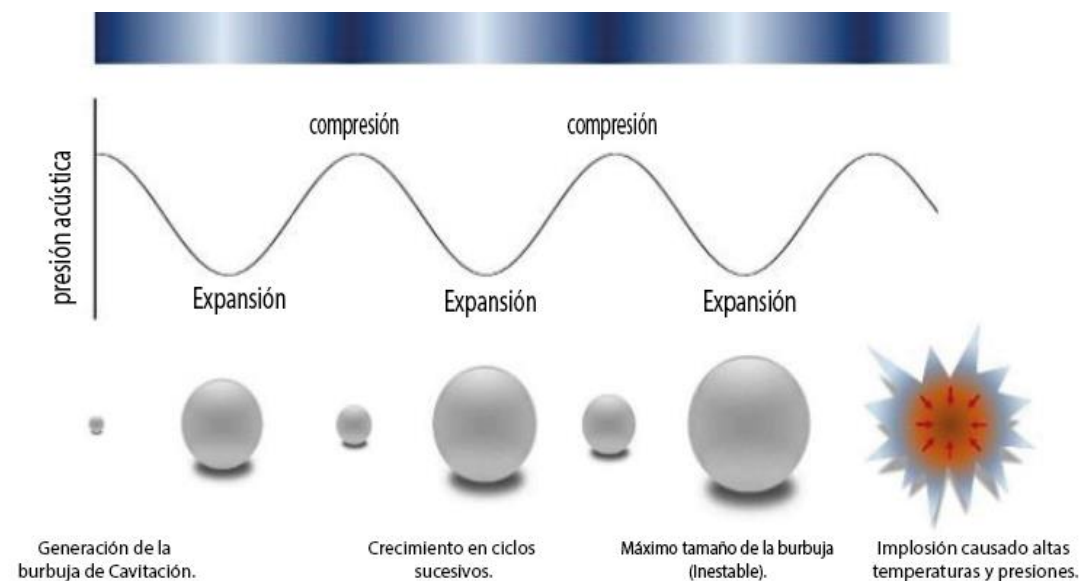
Tradicionalmente, la extracción de compuestos bioactivos se ha llevado a cabo mediante métodos convencionales como la maceración, la hidrodestilación y el Soxhlet. A pesar de su amplia aplicación, estos métodos presentan desventajas significativas, como el uso excesivo de solventes, lo que resulta en costos elevados, riesgos para la salud y un impacto negativo en el medio ambiente. En respuesta a estas limitaciones, han surgido técnicas alternativas más sostenibles, eficientes y respetuosas con el medio ambiente, tales como la extracción por ultrasonido de alta intensidad, por microondas y con fluidos supercríticos. Aunque todas ofrecen ventajas en términos de eficiencia y sostenibilidad, las técnicas de extracción asistida por ultrasonido y por microondas han ganado mayor popularidad debido a su accesibilidad y facilidad de operación (Wong-Paz et al., 2020).

1.6.1 Ultrasonidos de alta intensidad

La extracción asistida por ultrasonidos de alta intensidad se reconoce como una técnica eficiente para extraer compuestos fenólicos de materiales vegetales. Esta técnica reduce los tiempos de extracción y aumenta tanto el rendimiento como la calidad del extracto. Funciona mediante el fenómeno de cavitación acústica, el cual ocurre debido a la compresión y expansión de las ondas sonoras, que generan burbujas (Calderón et al., 2019; Soria & Villamiel, 2010). Las burbujas al colapsar cerca de tejidos celulares ocasionan daños que aumentan la permeabilidad del tejido, lo que facilita la solubilidad y la liberación de compuestos de interés (Che-Galicia et al., 2020).

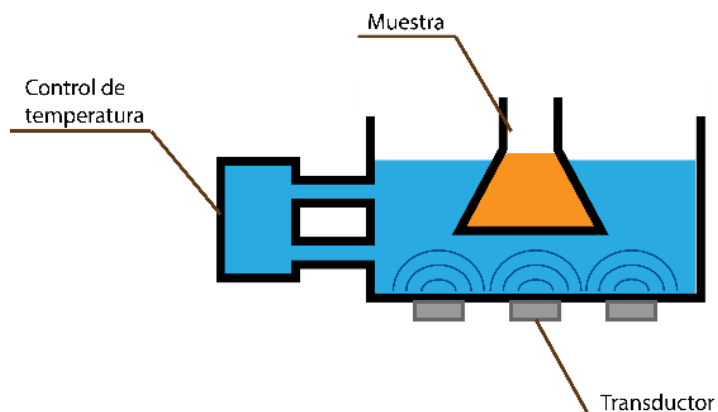
Existen dos opciones para llevar a cabo la extracción asistida por ultrasonido: el baño de ultrasonido y el sistema de sonda. Ambos sistemas utilizan un transductor como fuente de energía acústica. En el baño de ultrasonido, se emplea un tanque de acero inoxidable con uno o más transductores, y generalmente operan a una frecuencia de 40 kHz. Esta opción es más económica y accesible en comparación con el sistema de sonda. Por otro lado, los sistemas ultrasónicos de sonda operan a una frecuencia cercana a los 20 kHz. La sonda contiene el transductor y entra en contacto directo con la muestra, lo que permite una entrega directa de la energía acústica en el medio de extracción.

Figura 5. Fenómeno de cavitación, generación e implosión de burbujas por la compresión y expansión provocada por la propagación de una onda acústica en un medio líquido



Fuente: Adaptado de Sonido, Ultrasonido y Cavitación, Calderón et al., 2019, *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(4).

Figura 6. Esquema de extracción de compuestos funcionales por medio del baño de ultrasonido



1.6.2 Disolvente

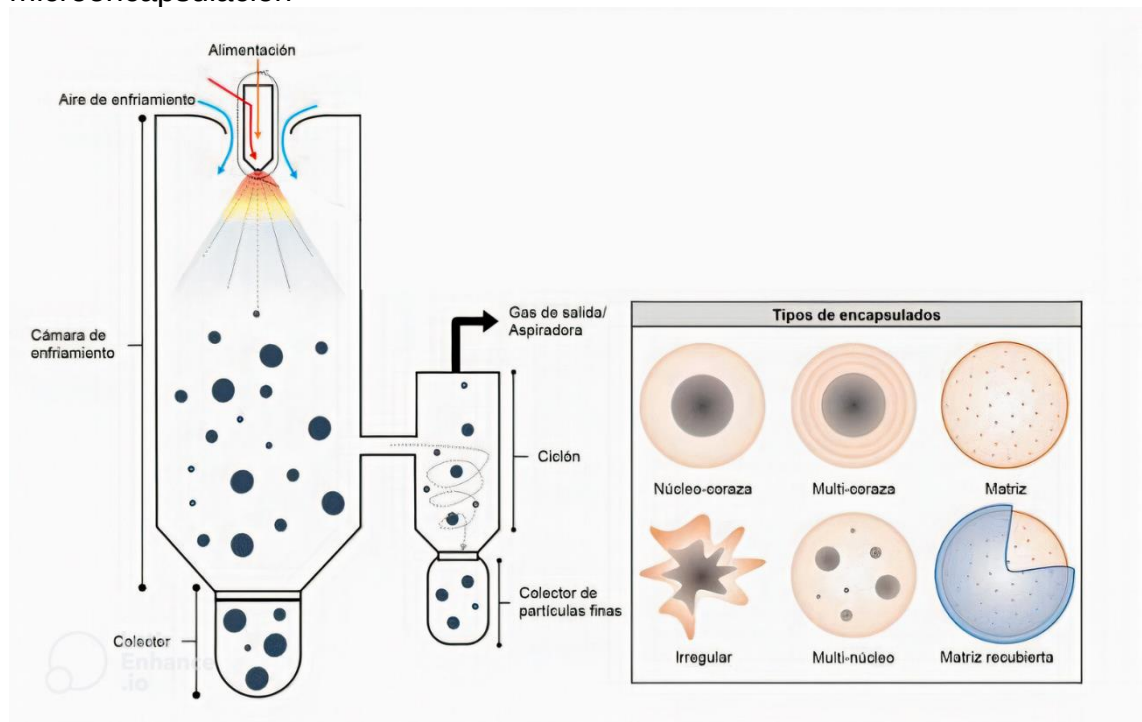
Los polifenoles se pueden extraer a partir de distintos disolventes polares, siempre teniendo en cuenta la finalidad de estos, ya que algunos disolventes pueden ser perjudiciales para el consumo humano debido a las trazas que pueden quedar en el extracto. En el caso del etanol, tiene una toxicidad muy baja y su uso en la industria alimentaria y farmacéutica está permitido por el Real Decreto 110/2011 del Ministerio de Sanidad (2011) (Soto-García & Rosales-Castro, 2016).

1.7 MICROENCAPSULACIÓN Y OBTENCIÓN DE MICROCÁPSULAS DE COMPUESTOS FUNCIONALES

Estos compuestos de interés se pueden someter a distintos procesos para recuperarlos en forma de polvo, como lo son la liofilización y el secado por aspersión. La liofilización es un método de deshidratación utilizado para la preservación de alimentos, por medio de la congelación y la eliminación del agua mediante sublimación. Este proceso es ideal para productos sensibles al calor, debido a que ayuda a conservar sus características organolépticas y funcionales, no obstante, los altos costos energéticos y los largos periodos de tratamiento limitan su uso (Boñón et al., 2020).

El secado por aspersión implica deshidratar un líquido mediante la atomización de partículas finas en una corriente de aire caliente para obtener polvos finos. A pesar del riesgo de degradación térmica que algunos productos sensibles al calor pueden experimentar y del estricto control de los diferentes parámetros, su versatilidad y eficiencia lo hacen idóneo para su uso en diversas industrias, incluidas las alimentarias y farmacéuticas (Banožić et al., 2023; Boñón et al., 2020).

Figura 7. Esquema del proceso de secado por aspersión y tipos de microencapsulación



Nota. Adaptado De Desarrollo De Una Matriz Encapsulante A Base De Almidón, Cera De Candelilla Y Nanoplateletas De Óxido De Grafeno, Figueroa, G., 2020, Instituto Tecnológico Nacional de México.

Los polifenoles son compuestos fácilmente degradables e inestables ante la presencia de luz, calor y oxígeno. Resultando fundamental complementar la obtención de estos compuestos con estrategias que favorezcan la producción de productos más estables. Un ejemplo relevante es la microencapsulación, un proceso mediante el cual el material de interés se encapsula dentro de una película continua de polímero. Esta técnica no solo preserva la integridad de los polifenoles, sino que también mitiga los efectos adversos derivados de factores externos, permitiendo así la incorporación efectiva de estos compuestos en diversos productos alimentarios y, por ende, potenciando su aplicación en la industria alimentaria y nutracéutica (Cao et al., 2021).

Uno de los agentes de microencapsulación más utilizados en la industria alimentaria es la maltodextrina, un polisacárido obtenido a partir de la hidrólisis ácida o enzimática de almidón de arroz, maíz, trigo o patata (Banožić et al., 2023). La maltodextrina presenta una serie de ventajas como su buena solubilidad en agua, baja viscosidad a altas concentraciones, inolora e incoloras (Esquivel-González et al., 2015; García et al., 2004).

1.8 USOS Y APLICACIONES DE MICROCÁPSULAS DE COMPUESTOS FUNCIONALES

Esta iniciativa se ve reforzada por las nuevas tendencias del mercado y la exigencias de los consumidores, que cada vez más buscan productos de consumo que sean funcionales, de origen natural y que le generen beneficios a su salud, por lo cual, hace que los extractos y microcápsulas de polifenoles obtenidas de la curuba puedan proyectarse como un sustituto de los distintos aditivos químicos que se usan convencionalmente como los antioxidantes que previenen el daño oxidativo de distintos alimentos susceptibles a este deterioro (Chopra et al., 2022; Valenzuela & Pérez, 2016).

La microcápsula de compuestos funcionales emerge como una innovación de gran relevancia con aplicaciones amplias en diversas industrias, como en el diseño de películas bioactivas para la fabricación de envases bioactivos, debido a la posibilidad de incorporar conservantes o antioxidantes que se liberan de manera controlada en los alimentos envasados (Miao et al., 2022).

Los polifenoles pueden estimular el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, esto significa que pueden tener un efecto prebiótico. Resulta que algunos polifenoles, como los taninos, son de difícil absorción en el sistema digestivo. A pesar de esto, ciertos microorganismos utilizan los polifenoles como sustratos para metabolizar otros compuestos más simples y de fácil absorción, las propiedades de estos compuestos son de gran interés debido a los posibles beneficios para la salud y a su capacidad antioxidante (Ma & Chen, 2020; Plamada & Vodnar, 2022). Además, se ha investigado el impacto positivo de los polifenoles en la modulación y composición del microbiota intestinal, así como su influencia en la digestión lipídica y de la glucosa (Pandey & Rizvi, 2009). Estos hallazgos sugieren un prometedor campo de estudio que podría llevar a la formulación suplementos nutricionales centrados en el uso de microcápsulas de polifenoles para mejorar la salud intestinal y general del individuo.

La estabilidad de los ingredientes encapsulados y el aumento de la biodisponibilidad permiten que las microcápsulas de polifenoles tengan aplicación en la cosmética y farmacéutica, gracias a la liberación controlada y la eficiencia de los ingredientes funcionales. Estas mismas ventajas permiten proyectar el uso de estos compuestos como sustitutos de los distintos aditivos químicos que se utilizan convencionalmente, como los antioxidantes que previenen el daño oxidativo en diversos alimentos susceptibles a este deterioro (Cao et al., 2021; Casanova & Santos, 2016).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener microcápsulas de compuestos fenólicos totales del fruto de la curuba (*Passiflora* sp.) con actividad antioxidante para uso alimentario.

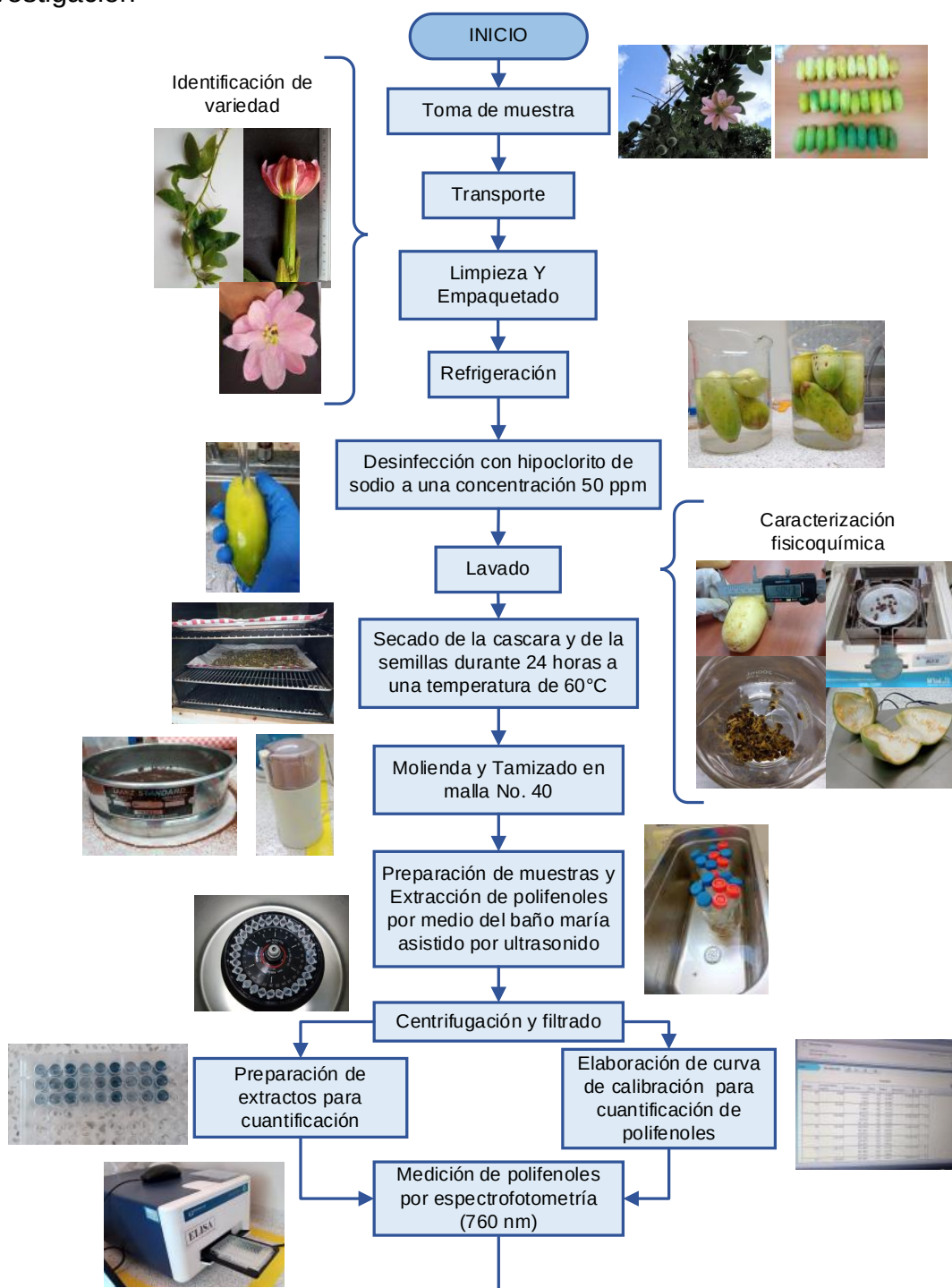
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

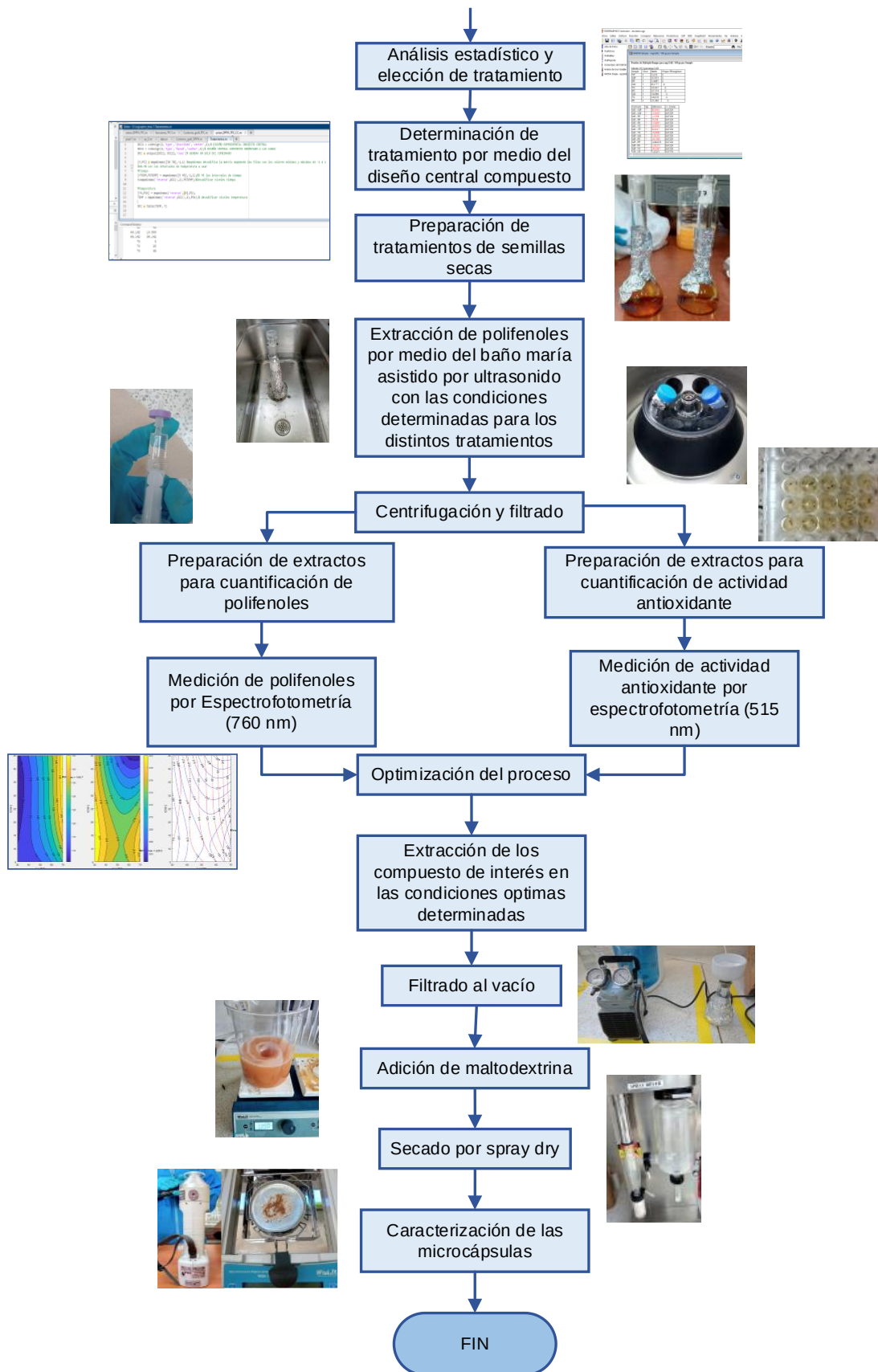
- Establecer la parte del fruto y el estado fisiológico de la curuba que presenta mayor concentración de compuestos fenólicos totales.
- Extraer y determinar los parámetros óptimos de tiempo y temperatura en la extracción de compuestos fenólicos con actividad antioxidante por medio de ultrasonido.
- Obtener un producto en polvo con capacidad antioxidante mediante secado por atomización, que pueda ser utilizado en la alimentación humana.
- Caracterizar y validar el producto microencapsulado mediante métodos cualitativos y cuantitativos.

3. METODOLOGÍA

Con el propósito de llevar a cabo la investigación y con el fin de cumplir los objetivos planteados, se realizó el siguiente procedimiento.

Figura 8. Diagrama de flujo de los procesos realizados en el desarrollo de la investigación





3.1 DETERMINACIÓN DE LA VARIEDAD Y CARACTERIZACIÓN DE LA CURUBA (*Passiflora* sp.)

3.1.1 Localización espacial

Las muestras de curuba se recolectaron en la vereda Colón, zona La División del municipio de Algeciras – Huila (2° 39' 33.9560" Norte y 75° 9' 12.9942" Oeste) a una altitud de 2100 msnm. El clima de la zona se caracteriza por una temperatura media de 14°C, humedad relativa de 73% y precipitación media anual de 1250 mm. Los datos climáticos fueron proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Se seleccionaron al azar 10 plantas de curuba y se recolectaron 30 frutos en tres estados de maduración fisiológica: verde, pintón y maduro teniendo en cuenta el color de la cáscara (figura 9). También se tomaron muestras del bejuco (flores y hojas) (figura 10), con el fin de identificar la variedad.

Figura 9. Estados fisiológicos de maduración de frutos de curuba recolectados

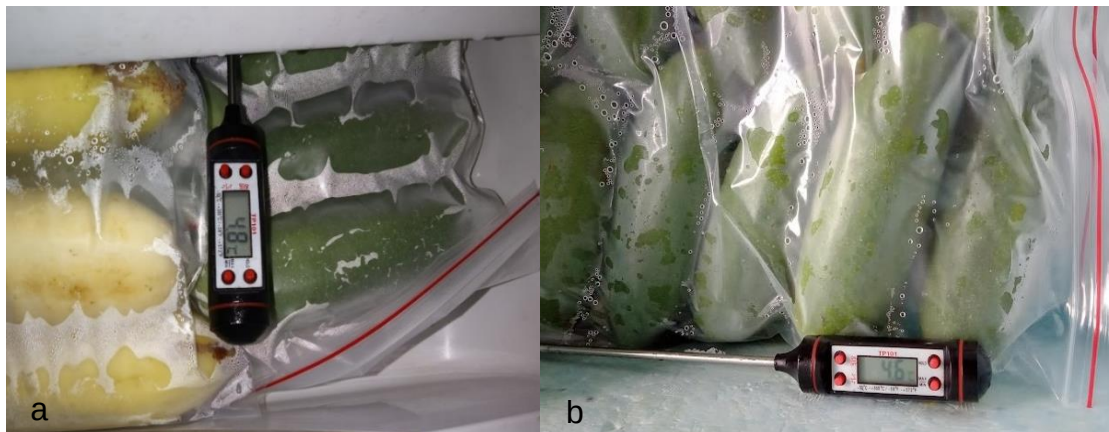


Figura 10. Planta de curuba



Los frutos se transportaron hasta la zona rural donde posteriormente se limpiaron para retirar rastros de tierra. Cada muestra se empacó en bolsas con cierre hermético y se extrajo la mayor cantidad de aire usando un pitillo. El almacenamiento se realizó en una nevera convencional a una temperatura entre 4°C a 7°C (Botía-Niño et al., 2008). Finalmente, los frutos se trasladaron en una nevera de icopor con hielo seco hasta el laboratorio de Investigación del Centro de Formación Agroindustrial del SENA ubicado en el Municipio de Campoalegre.

Figura 11. Control de temperatura (a) en el almacenamiento de curuba en la nevera convencional y (b) en el transporte de curuba en la nevera de icopor



3.1.2 Adecuación de fruto de curuba

Los frutos de curuba se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 50 ppm donde fueron sumergidos durante 5 minutos. Posteriormente, los frutos se lavaron con abundante agua y secaron con toallas absorbentes para su procesamiento.

Figura 12. Adecuación de frutos: desinfección y lavado



3.1.3 Caracterización morfológica y fisicoquímica de los frutos

Con el fin de identificar la variedad de curuba cultivada en la vereda Colón, se empleó el Herbario de la Universidad Surcolombiana SURCO teniendo en cuenta la clave de los subgéneros de pasiflora en Colombia para tratamientos taxonómicos mencionados por la Universidad Nacional de Colombia.

Figura 13. Flor y hoja de la planta de curuba para la identificación de la variedad de la pasiflora



Los frutos se caracterizaron fisicoquímicamente en sus distintas partes de acuerdo con los siguientes descriptores:

Tabla 3. Descriptores morfológicos y fisicoquímicos del fruto de curuba

N°	DESCRIPTOR
1	Peso del fruto (g)
2	Longitud del fruto (mm)
3	Ancho del fruto (mm)
4	Peso de la cáscara (g)
5	Grosor de la cáscara (mm)
6	Peso de las semillas (g)
7	Humedad de las semillas (%)
8	Peso de la pulpa (g)
9	Acidez titulable pulpa
10	pH de la pulpa
11	°Brix de la pulpa
12	Humedad de la pulpa (%)

3.1.3.1 Caracterización física de los frutos

Se tomaron las medidas tanto de la longitud, del ancho como el espesor de la cáscara del fruto con un calibrador pie de rey (Jaguar, China).

Figura 14. Toma de medida del fruto de curuba en su estado fisiológico maduro



3.1.3.2 Pesaje y extracción de pulpa

El peso de los frutos se registró en una balanza analítica (WBA-6200, Daihan Scientific Co., Corea). El peso de la pulpa se obtuvo por diferencia (Ecuación 1), teniendo en cuenta las pérdidas generadas en el lienzo de filtración para la separación de las semillas (figura 16).

$$\text{Peso de la pulpa} = \text{Peso del fruto} - \text{Peso de la cáscara} - \text{Peso de las semillas} \quad \textbf{(Ecuación 1)}$$

Figura 15. Pesaje del fruto y de la cáscara



Figura 16. Separación de las semillas y de la pulpa de curuba



3.1.3.3 Determinación de la humedad

El contenido de humedad se determinó por el método infrarrojo tanto para las semillas como para la pulpa en un Analizador de Humedad de Alto Rendimiento (WBA-110M, Daihan Scientific Co., Corea).

Figura 17. Determinación de humedad (a) en las semillas y (b) de la pulpa de curuba



3.1.3.4 pH de la pulpa

El pH de la pulpa se determinó teniendo en cuenta los parámetros técnicos establecidos en la norma AOAC 181.12. Se empleó un potenciómetro portátil (HI98161, HANNA Instruments, EE.UU.) debidamente calibrado.

Figura 18. Medición de pH de la pulpa de curuba



3.1.3.5 Acidez titulable de la pulpa

La acidez titulable se expresa como los miligramos de Hidróxido de sodio (NaOH) necesarios para titular el ácido oxálico presente en la pulpa de curuba, ya que según estudios es el ácido predominante en esta fruta (Mayorga, 2016). Esta prueba se realizó según lo describe la Norma Técnica Colombiana NTC 4623.

La titulación se realizó con una solución estándar de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N en presencia de fenolftaleína, con 5 ml de muestra de pulpa y 20 ml de agua destilada.

$$\% \text{ Acidez} = \frac{V * N * c}{V_1} * 100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

V = mL de hidróxido de sodio

N = Normalidad del hidróxido de sodio

c = peso equivalente de ácido oxálico

V₁ = ml de muestra de pulpa

Figura 19. Determinación de acidez por titulación



3.1.3.6 Contenido de sólidos solubles de la pulpa de curuba

Los °Brix se midieron en un refractómetro digital (PAL-1, ATAGO, Japón). El prisma del instrumento se limpió cuidadosamente y en él se dispensaron cinco gotas de pulpa, la lectura se corrigió aumentando o disminuyendo, según haya sido el caso, 0,000365 por cada grado de diferencia entre la temperatura de la determinación y 25°C teniendo en cuenta que el índice de refracción disminuye a medida que aumenta la temperatura (Bernal, 1998).

Figura 20. Medición de °Brix de la pulpa de curuba



3.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE FENOLES TOTALES EN FRUTOS DE CURUBA EN DIFERENTES ESTADOS FISIOLÓGICOS DE MADURACIÓN

Con el propósito de establecer la parte del fruto de curuba y el estado de madurez fisiológica con mayor concentración de fenoles totales, se planteó un diseño factorial 3^2 para establecer las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) empleando dos factores con tres niveles (Tabla 4). Para ello, se realizó la cuantificación de fenoles totales por triplicado y los resultados fueron analizados en el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI®.

Tabla 4. Diseño experimental factorial para cuantificación de fenoles totales

Tratamiento	B1	B2	B3
A1	A1B1	A1B2	A1B3
A2	A2B1	A2B2	A2B3
A3	A3B1	A3B2	A3B3

Factor A: parte del fruto de curuba

A1: cáscara

A2: pulpa

A3: semillas

Factor B: estado de madurez fisiológica.

B1: verde

B2: pintón

B3: maduro

3.2.1 Preparación de muestras

Las semillas y cáscaras troceadas se secaron en un horno de convección forzada (UN160, Memmert Inc., Alemania) durante 24 horas a una temperatura de 60°C, ya que de acuerdo con Ossa (2021) y Urrea et al. (2012), esta temperatura garantiza un secado más rápido y una mayor concentración de la actividad antioxidante a pesar de la pérdida de algunos tipos de polifenoles. Es importante resaltar que, la degradación de compuestos bioactivos en matrices alimentarias no solo depende de la temperatura de secado, sino del tiempo en que dura la muestra en secarse, siendo este último, el principal responsable de la degradación de compuestos de interés. Finalizada la etapa de secado, se determinó la humedad tanto de las semillas como de las cáscaras asegurando valores inferiores al 7%, posteriormente se realizó una molienda ultrafina empleando un molino de impacto MF 10 Basic (IKA, Alemania) y finalmente las muestras se tamizaron usando un tamiz No. 40 (apertura de tamiz nominal de 425 μm) para obtener una muestra homogénea.

Figura 21. Cáscaras troceadas en sus distintos estados madurez



Figura 22. Cáscaras troceadas y semillas deshidratadas en el horno de convección forzada



Figura 23. Tamizado de semillas de curuba molida en Malla No. 40



3.2.2 Cuantificación de compuestos fenólicos totales

3.2.2.1 Elaboración de la curva de calibración para la cuantificación de fenoles

Para la elaboración de la curva, se emplearon distintas disoluciones de etanol al 60% acidificado con ácido clorhídrico, con un pH de 1, y de solución madre de ácido gálico a 500 ppm con etanol al 60%, cada disolución se realizó por triplicado y bajo oscuridad.

Tabla 5. Preparaciones de disoluciones de etanol al 60% y de solución madre

Dilución	Concentración de ácido gálico final de las diluciones (ppm)	solución madre de ácido gálico a 500 ppm (μL)	Etanol 60% (μL)
1 (blanco)	0	0	2000
2	50	200	1800
3	100	400	1600
4	150	600	1400
5	200	800	1200
6	250	1000	1000
7	300	1200	800
8	350	1400	600
9	400	1600	400
10	450	1800	200

Las disoluciones se analizaron en un Lector de microplacas (SpectraMax ABS Plus, Molecular Devices, EE. UU.) a una longitud de onda de 760 nm. Se emplearon microplacas de 96 pozos (matriz de 12 x 8), a las cuales se les añadieron 190 μL de agua destilada, 30 μL del reactivo Folin-Ciocalteu, 10 μL de cada disolución y 65 μL de carbonato de sodio (7,5% p/v). Posteriormente, se

colocaron en el interior del lector de placas, donde se aplicó inicialmente agitación, seguida de 60 minutos de incubación. Se aseguró que la absorbancia del blanco (balón 1) fuera cero. A partir de los valores de absorbancia obtenidos para cada concentración de ácido gálico, se construyó la correspondiente recta de calibrado (anexo 3): concentración de ácido gálico vs Absorbancia, con una correlación $r^2 > 0,99$ en relación con la ecuación de la recta.

3.2.2.2 Preparación de extractos

Se pesaron por triplicado 50 mg de cada muestra tamizada y se agregó 10 mL de solución de extracción (etanol al 60%). Las muestras se colocaron en un baño ultrasónico (UC-30A, Biobase, China) con una frecuencia ultrasónica de 40 KHz y una potencia de ultrasonido de 160 W, a una temperatura entre 35 °C y 40 °C durante 30 minutos. Los extractos obtenidos fueron centrifugados en una centrífuga refrigerada (5804R, Eppendorf, Alemania) durante 10 minutos a una temperatura de 4°C y el sobrenadante se pasó por filtros de nylon de 0,45 µm. El proceso de extracción se realizó en condiciones de oscuridad y en recipientes herméticos.

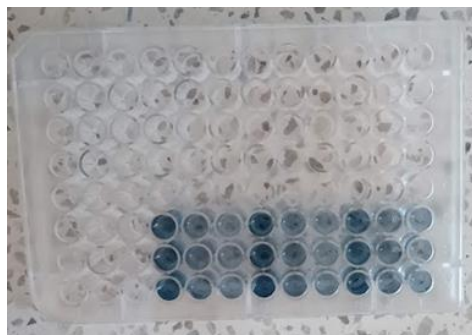
Figura 24. Extracción de compuestos de interés por medio de baño de ultrasonido, centrifugación y filtrado de los extractos



3.2.2.3 Cuantificación de fenoles totales por el método Folin-Ciocalteu

Para la determinación del contenido de fenoles totales se realizaron lecturas espectrofotométricas a una longitud de onda de 765 nm, usando el Lector de microplacas (SpectraMax ABS Plus, Molecular Devices, EEUU). Se usaron microplacas de 96 pozos (matriz de 12 x 8), se agregaron 190 µL de agua destilada, 30 µL del reactivo Folin Ciocalteu, 10 µL de cada extracto y 65 µL de carbonato de sodio (7,5% p/v) por triplicado, se colocaron en el interior del lector de placas, el cual realizó una agitación, seguido de 60 minutos de incubación. Los resultados se expresaron en mg GAE/100 g de muestra en base seca para la cáscara y la semilla y mg GAE/100 g de muestra en base húmeda para la pulpa.

Figura 25. Placas de microtitulación con los distintos resultados de los tratamientos del diseño factorial



3.3 OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS DE INTERÉS

Con el propósito de establecer las variables del proceso de extracción óptimas para lograr la mayor concentración de compuestos fenólicos y una elevada actividad antioxidante, se empleó la metodología propuesta por Che-Galicia et al. (2020) con algunas adaptaciones. Se planteó una combinación de Diseño Central Compuesto Inscrito con un Diseño Central Compuesto Orientado a las Caras, considerando como factores el tiempo (entre 5 minutos a 45 minutos) y la temperatura de extracción (entre 30 °C a 70 °C). Como variables respuesta se establecieron: la concentración de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Los parámetros de los distintos tratamientos fueron determinados a través del Diseño Central Compuesto utilizando el programa MATLAB® (anexo 4).

Figura 26. Distribución de los diferentes tratamientos según el Diseño Central Compuesto utilizando el programa MATLAB® en relación con la gráfica

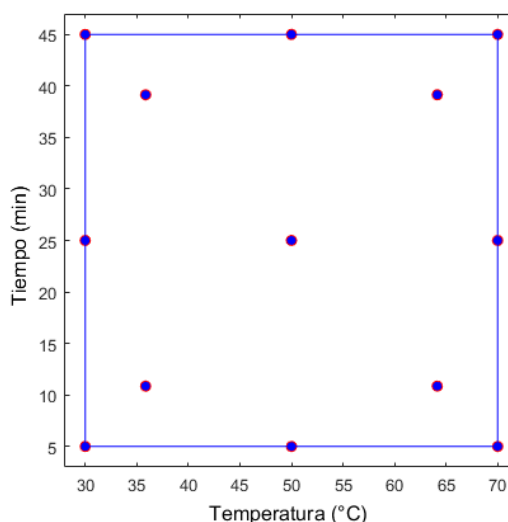


Tabla 6. Parámetros de los distintos tratamientos a elaborar según el Diseño Central Compuesto utilizando el programa MATLAB®

Tratamiento	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
T1	5	50
T2	25	50
T3	45	50
T4	5	30
T5	25	30
T6	45	30
T7	11	36
T8	39	36
T9	11	64
T10	39	64
T11	5	70
T12	25	70
T13	45	70

3.3.1 Extracción y cuantificación de compuestos

Figura 27. Extracción de polifenoles de los distintos tratamientos planteado en el diseño experimental



Se prepararon soluciones de 50 mL para cada tratamiento en las concentraciones ya mencionadas, la extracción de los compuestos de interés se desarrolló por medio del baño de ultrasonido (UC-30A, Biobase, China) con la ayuda de una bomba de vacío multifunción de circulación de agua WEV-003S se controló la temperatura de los distintos tratamientos. Los distintos extractos se cuantificaron acorde a su actividad antioxidante por medio del método DPPH y su contenido de fenoles totales.

3.3.2 Actividad antioxidante

3.3.2.1 Elaboración de la curva de calibración para la cuantificación de actividad Antioxidante

Para la construcción de la curva de calibración se empleó distintas disoluciones de alcohol metílico al 80% y de solución patrón de Trolox a 2000 μmol con alcohol metílico al 80%.

Tabla 7. Preparación de disoluciones de etanol al 60% y de solución madre

Dilución	Concentración de Trolox final de las diluciones (ppm)	solución patrón de Trolox a 2000 μmol (μL)	alcohol metílico al 80% (μL)
1	100	100	1900
2	300	300	1700
3	500	500	1500
4	700	700	1300
5	900	900	1100
6	1100	1100	900

Los resultados fueron obtenidos mediante espectrometría a una longitud de onda de 517 nm. Se utilizaron microplacas de 96 pozos, a las cuales se les añadieron 10 μL de cada disolución y 290 μL de solución de DPPH a 60 μmol con alcohol metílico al 80%. Las microplacas fueron colocadas en el interior del lector de placas, donde se aplicó agitación inicialmente, seguida de 60 minutos de incubación. A partir de los valores de absorbancia obtenidos, se construyó la correspondiente recta de calibración (anexo 5): Concentración de Trolox vs Absorbancia.

3.3.2.2 Cuantificación de actividad antioxidante (AA) por el método del DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo)

Se determinó la actividad antioxidante usando el método desarrollado por Brand-Williams et al. (1995) empleando el radical libre DPPH a una longitud de onda de 517 nm en un equipo Lector de microplacas (SpectraMax ABS Plus, Molecular Devices, EE.UU.). Se empleó Trolox como antioxidante de referencia. Los tratamientos se prepararon en una microplaca de 96 pozos, donde se agregaron 10 μL de extracto y 290 μL de Solución de DPPH, se dejaron reaccionar durante una hora en condiciones de oscuridad. Los resultados se expresaron en μmol

Trolox/100 g en base seca para la cáscara y la semilla, y μmol Trolox/100 g en base húmeda para la pulpa.

3.3.2.3 Obtención de modelos matemáticos

Los parámetros y los resultados obtenidos fueron ingresados al programa MATLAB® para determinar las ecuaciones ajustadas de cada propiedad medida por medio de la herramienta Curve Fitting Toolbox. Esta herramienta permite ajustar los datos experimentales a una ecuación polinomial para obtener los modelos matemáticos del contenido de Fenoles Totales y Actividad Antioxidante en función a los factores: tiempo y temperatura de extracción. También se reportó el coeficiente de regresión (R^2) y error estándar de la estima (EEE).

La optimización multicriterio de los parámetros se realizó mediante métodos gráficos, de acuerdo con los modelos de regresión y utilizando la deseabilidad máxima del sistema de múltiples respuestas. Función cuyo rango de valores varía en el intervalo de (0, 1) y resulta de promediar las medias geométricas de las deseabilidades individuales de cada variable de respuesta, como se muestra a continuación:

$$D_n = (d_1 \times d_2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde d_1 y d_2 son las respuestas.

$$d_1 = \frac{\text{Polifenoles Totales}}{\text{Modelo. Matematico. TPC} - \text{mínimo(TPC)}} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$d_1 = \frac{\text{máximo(TPC)} - \text{mínimo(TPC)}}{\text{máximo(TPC)} - \text{mínimo(TPC)}}$$

$$d_2 = \frac{\text{Actividad Antioxidante}}{\text{Modelo. Matematico. DPPH} - \text{mínimo(DPPH)}} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$$d_2 = \frac{\text{máximo(DPPH)} - \text{mínimo(DPPH)}}{\text{máximo(DPPH)} - \text{mínimo(DPPH)}}$$

El valor más alto de D_n indica la mejor combinación del sistema para las variables de respuesta: contenido de Fenoles Totales y Actividad Antioxidante, donde se buscó la maximización de ambos criterios.

3.3.3 Microencapsulación de extractos polifenólicos

Una vez definidas las variables óptimas de extracción, se procedió a la obtención de microcápsulas de polifenoles usando el mismo procedimiento mencionado en la sección 3.2.2.2. Para la extracción con ultrasonidos de alta intensidad se ajustó en el baño el tiempo y la temperatura de extracción teniendo en cuenta los parámetros obtenidos en el proceso de optimización a una frecuencia ultrasónica de 40 KHz y una potencia de ultrasonido de 160 W.

Figura 28. Extracción de compuestos de interés por medio del baño de ultrasonido con los parámetros obtenidos en el proceso de optimización



Posteriormente, los extractos se filtraron con papel Whatman N°4 empleando un filtro Büchner y matraz Kitasato. Como agente encapsulante, se usó maltodextrina. La formulación de la mezcla de alimentación se empleó en una proporción de 17,5:1 m/m (Extracto etanólico: encapsulante) (Mishra et al., 2014).

Tabla 8. Formulación empleada para la preparación de la mezcla de alimentación en equipo Spray Drying

INGREDIENTE	Concentración (%)
Extracto polifenólico de semilla de curuba	94,6
Maltodextrina	5,4

Figura 29. Preparación de extractos y adición de maltodextrina con agitación constante



Para obtener las microcápsulas de compuestos polifenólicos del fruto de curuba, se aplicó un proceso de secado por aspersión usando un equipo Spray Drying (MSK-USP-6000, Zhengzhou CY Scientific Instrument Co. Ltd., China). Los parámetros de secado se aplicaron de acuerdo con la metodología descrita por Martínez (2022).

Tabla 9. Parámetros de secado de microcápsulas de polifenoles por Spray Drying

Parámetro	Valor
Alimentación de la muestra	1080 mL/h
Temperatura de entrada del aire	145°C
Temperatura de salida de la muestra	75°C
Velocidad del aire de secado	35 m ³ /h

Figura 30. Obtención de microcápsulas de polifenoles del fruto de curuba



3.3.4 Caracterización de las microcápsulas

Una vez obtenido el extracto polifenólico en polvo, se caracterizó con base a su contenido de humedad, colorimetría, actividad antioxidante e inocuidad microbiológica.

Figura 31. Análisis microbiológico, medición de colorimetría y determinación de humedad en microcápsulas



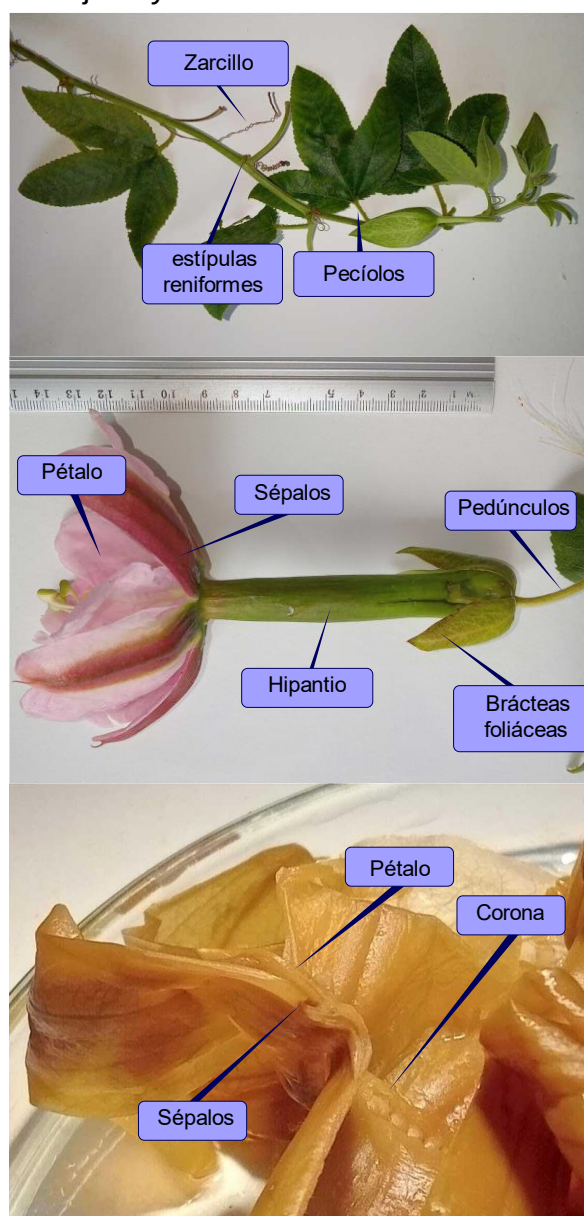
La inocuidad microbiológica se evaluó mediante siembra masiva a partir de una disolución 1:10 m/v (microcápsulas/agua destilada) en los medios de cultivo Agar PDA, Agar Salmonella Shigella y Agar Cromogénico E. coli-Coliformes. Las muestras se incubaron a 37 °C durante 24 horas, seguidas de un recuento de Unidades Formadoras de Colonia (UFC).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Identificación de la especie de curuba (*Passiflora* sp.)

Las muestras recolectadas en el cultivo contenían presencia de estructuras de fijación o zarcillos, tricomas rectos y ondulados, el hipantio era más largo que los sépalos, los pétalos estaban insertados al nivel de la corona y sobre los sépalos, estípulas reniformes, pedúnculos menores de 17 cm de largo, hojas pubescentes o con superficie vellosa, sépalos con tonos rosados, flores con forma pendular y frutos de forma oblonga con pericarpio blando de color amarillo al madurar, perteneciente subgénero *Tacsonia*, Sección *Bracteogama*.

Figura 32. Partes del bejuco y de la flor de curuba



Con base a los distintos descriptores identificados en el Herbario de la Universidad Surcolombiana SURCO, las claves taxonómicas descritas en la base de datos de la Universidad Nacional de Colombia y el apoyo de la Licenciada en Ciencia Naturales Floralba Tacumá, de la docente Hilda del Carmen y el Especialista en la Familia, se concluyó que el espécimen pertenece a la variedad *Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) tal como lo constata el certificado expedido por el Herbario SURCO (anexo 6).

4.2 Resultados de los descriptores morfológicos y fisicoquímicos del fruto de curuba

El Lavado de los frutos con la solución de hipoclorito no solo tiene como finalidad eliminar la suciedad y disminuir la carga microbiana, sino también tiene como propósito disminuir el efecto de la enzima polifenoloxidasas (PPO), tal como se ha evidenciado en otros estudios con compuesto clorados (Fu et al., 2007; Mola et al., 2016), permitiendo ralentizar la degradación de los compuestos fenólicos del fruto al ser procesados.

Una vez desinfectados, se analizaron un total de 30 frutos (10 frutos por cada estado madurez fisiológica), los resultados obtenidos de sus distintos descriptores morfológicos y fisicoquímicos del fruto se encuentran descritos en la tabla 10 (anexo 7).

A partir de estos datos se determinó:

- La relación largo/ancho.

$$\text{Relación largo/ancho} = \frac{\text{Longitud del fruto (mm)}}{\text{Diámetro del fruto (mm)}} \quad \textbf{(Ecuación 6)}$$

- Índice de madurez.

$$\text{Índice de madurez} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{Acidez titulable}} \quad \textbf{(Ecuación 7)}$$

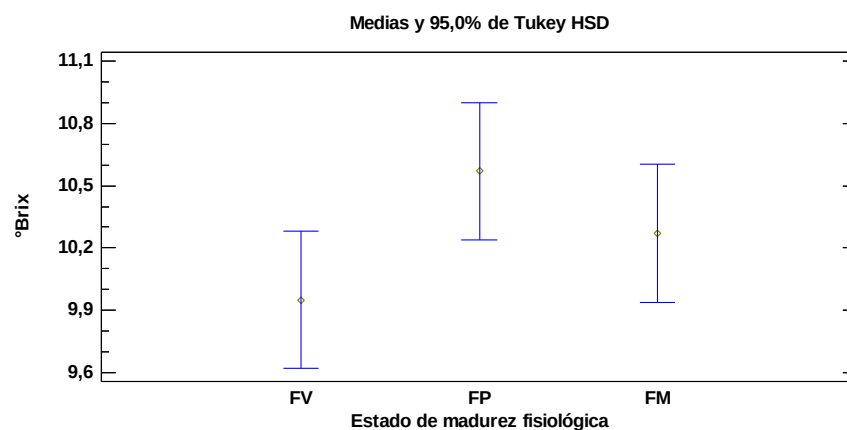
Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos de la curuba (medias $\pm$ error estándar)

Descriptor	Estado de madurez fisiológica		
	Frutos verdes	Frutos pintones	Frutos maduros
Peso Fruto (g)	111,04 $\pm$ 12,56 a	120,79 $\pm$ 22,16 a	125,01 $\pm$ 26,83 a
Relación largo/ancho	2,64 $\pm$ 0,07 a	2,61 $\pm$ 0,16 a	2,58 $\pm$ 0,11 a
Cáscara (%)	39,34 $\pm$ 4,95 a	36,16 $\pm$ 5,83 a	36,16 $\pm$ 10,45 a
Pulpa (%)	46,23 $\pm$ 8,51 a	54,97 $\pm$ 5,13 a	54,97 $\pm$ 13,01 a
Semilla (%)	14,44 $\pm$ 6,26 b	8,75 $\pm$ 2,35 a	10,01 $\pm$ 3,34 ab
Acidez titulable pulpa	1,14 $\pm$ 0,07 c	0,89 $\pm$ 0,09 b	0,74 $\pm$ 0,13 a
° Brix pulpa	9,95 $\pm$ 0,67 a	10,57 $\pm$ 0,4 a	10,27 $\pm$ 0,68 a
Índice de madurez	8,75 $\pm$ 0,82 a	12,03 $\pm$ 1,41 b	14,22 $\pm$ 2,71 c
pH pulpa	3,32 $\pm$ 0,15 a	3,42 $\pm$ 0,08 a	3,45 $\pm$ 0,18 a
Humedad semilla (%)	53,64 $\pm$ 4,14 b	46,35 $\pm$ 3,08 a	49,90 $\pm$ 3,09 ab

Nota: La presencia de letras diferentes en la misma fila sugiere diferencia estadísticamente significativa según el análisis de Tukey ($p < 0,05$).

4.2.1 Contenido de sólidos solubles de la pulpa

Figura 33. Gráfico de medias para los °Brix en los distintos estados de madurez

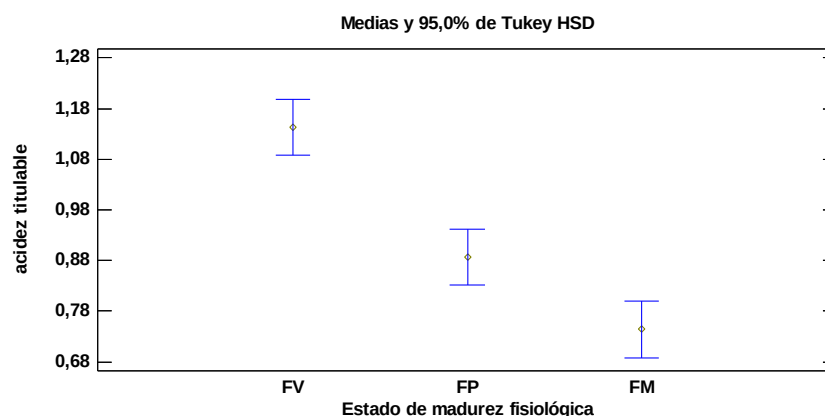


Los resultados de °Brix para el estado fisiológico verde fueron mayores que los reportados por Gupioc (2022) para la curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*) en el mismo estado de madurez, mientras que los valores para los otros estados fisiológicos se encuentran dentro de rangos similares. Por otro lado, Mayorga (2016) encontró diferentes contenidos de sólidos solubles para la misma variedad de curuba en un estado de madurez de cosecha, con valores de 9,7 °Brix y 8,3 °Brix en dos condiciones de cultivo distintas, siendo inferiores a los obtenidos en este estudio.

A lo largo del proceso de maduración de los frutos de curuba, se observó un aumento en los sólidos solubles (°Brix) debido a la acumulación de azúcares y otros compuestos solubles en agua, características típicas de la maduración de muchos frutos. Sin embargo, a medida que los frutos pasaron del estado pintón al maduro, se evidenció una disminución de los °Brix, la cual podría asociarse con la degradación oxidativa de los azúcares a través de mecanismos metabólicos (Taiz & Zeiger, 2002). Aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los diferentes estados de madurez fisiológica, el contenido más bajo en el estado de madurez verde podría atribuirse a un menor desarrollo de los azúcares. Este comportamiento coincidió con los hallazgos de un estudio realizado por Gupioc (2022) en una de las muestras de curuba (*P. tripartita* var. *Mollissima*).

4.2.2 Acidez titulable de la pulpa

Figura 34. Gráfico de medias para la acidez titulable en los distintos estados de madurez

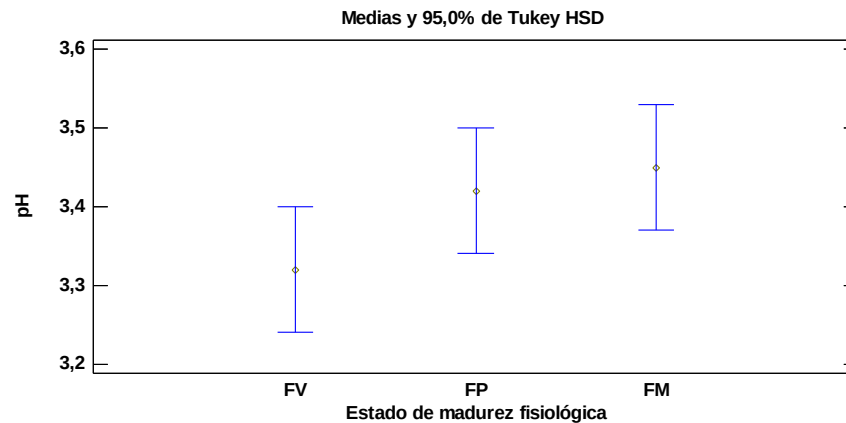


La acidez titulable se sitúa dentro del rango de valores obtenidos por Mayorga (2016), aunque estos son inferiores a los reportados por Gupioc (2022), debido a que este último utilizó el peso equivalente de ácido cítrico para sus cálculos.

Durante el proceso de maduración de los frutos, se evidenció una disminución en la acidez titulable a medida que avanzaron hacia su estado maduro. Este patrón de cambio fue observado tanto en los resultados obtenidos por Botía-Niño et al., (2008) para la curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) como en la investigación realizada por Gupioc (2022) para la curuba (*P. tripartita* var. *Mollissima*). Esta disminución en la acidez titulable pudo atribuirse a diversos factores. Durante la maduración, los frutos experimentan cambios metabólicos que incluyen el consumo de ácidos como sustratos energéticos y la conversión de ácidos a azúcares (Taiz & Zeiger, 2002).

4.2.3 pH de la pulpa

Figura 35. Gráfico de medias para el pH en los distintos estados de madurez



El pH de las pulpas no presentó diferencias estadísticas entre los diferentes estados de madurez y se encuentra dentro de los rangos de pH reportados por Botía-Niño et al. (2008).

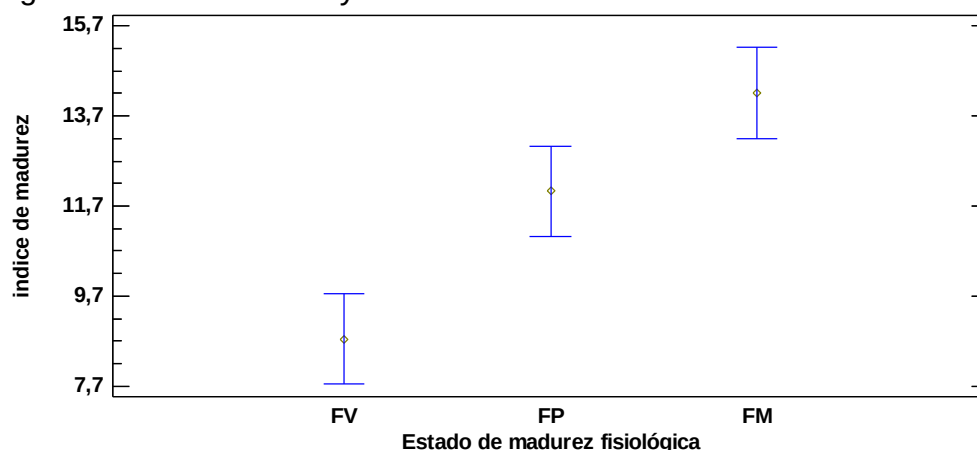
El aumento del pH de los frutos a lo largo de los diferentes estados de madurez pudo atribuirse a varios procesos metabólicos que ocurrieron durante la maduración. Conforme los frutos maduran, experimentan cambios en su composición química, incluyendo la degradación de compuestos ácidos y la acumulación de sustancias alcalinas. Estos cambios pudieron afectar el equilibrio ácido-base y resultar en un aumento del pH. En el caso específico de los frutos de curuba, este comportamiento en el pH durante la maduración coincidió con hallazgos similares en otra pasiflorácea, la gulupa (*P. edulis sims*), según lo señalado por Pilar et al., (2007).

4.2.4 Índice de madurez

El índice de madurez es una medida que relaciona los cambios del fruto en sus distintas etapas de desarrollo, como la relación entre sólidos solubles y acidez titulable, siendo un indicador importante de la calidad y madurez de la fruta.

A medida que la fruta madura, experimenta cambios entre estos parámetros, con el aumento de los sólidos solubles y la disminución de la acidez, lo que indica un aumento del índice de madurez a medida que el fruto madura. A pesar de la disminución de sólidos solubles en el estado fisiológico maduro, el índice de madurez se comportó acorde a lo esperado, presentando diferencias estadísticas entre los distintos estados de madurez fisiológica, coincidiendo con los resultados obtenidos por Gupioc (2022).

Figura 36. Gráfico de medias para el índice de madurez en distintos estados fisiológicos. Prueba de Tukey HSD 95% de confianza



4.3 Determinación de compuestos fenólicos totales (TPC) en los distintos estados de madurez y parte del fruto

Tabla 11. Contenido de TPC en base seca en las distintas partes del fruto y estados de madurez. Pruebas de Múltiple Rangos para TPC con 95% de confianza de Tukey HSD (medias $\pm$ error estándar)

Tratamiento	mg GAE/100 g en base seca	CV	Grupos Homogéneos
MC	3807,11 $\pm$ 134,667	3,537%	a
PC	4302,95 $\pm$ 177,295	4,120%	a
VC	4103,28 $\pm$ 196,686	4,793%	a
MS	5239,92 $\pm$ 132,365	2,526%	b
VS	5135,57 $\pm$ 190,208	3,703%	b
PS	5918,89 $\pm$ 112,350	1,898%	c
VP	5818,77 $\pm$ 141,691	2,435%	c
MP	6958,42 $\pm$ 150,057	2,156%	d
PP	7286,57 $\pm$ 276,488	3,794%	d

Nota. La primera letra corresponde al estado de madurez fisiológica y la segunda a la parte del fruto. M maduro, P pintón, V verde; C cáscara, S semillas, P pulpa.

Los resultados obtenidos se analizaron a través del programa Statgraphics Centurion® XVI, los cuales revelan que los conjuntos presentan una variabilidad moderada o baja, lo que indica mediciones consistentes que se corrobora con los bajos valores del coeficiente de variación (CV). El CV es una medida estadística que describe la dispersión relativa de un conjunto de datos y se expresa como porcentaje (Gutiérrez & Vara, 2009).

Con base en la distribución de los grupos homogéneos se determinó que las pulpas en base seca tenían la mayor concentración de polifenoles totales. Las pruebas de múltiples rangos establecieron cuatro grupos homogéneos, las muestras de cáscara no presentaron diferencias estadísticas entre sí, al igual que las muestras de semillas, con la excepción de las semillas en el estado fisiológico pintón, que se agrupaban con la pulpa del estado fisiológico verde sin presentar diferencias estadísticas, por otro lado, las muestras restantes de pulpa en base seca, provenientes de los otros estados fisiológicos, conformaban parte del otro grupo identificado.

Según los resultados obtenidos, el contenido de TPC en las pulpas en base seca fueron superiores a los resultados mencionados por Contreras-Calderón et al., (2011) para la curuba (*P. mollissima*), estos últimos informaron una concentración de $635 \pm 2,71$ mg GAE/100 g de fruta fresca de pulpa y semillas. En el caso de las cáscaras, los resultados obtenidos fueron mayores a los mencionados por Contreras-Calderón et al., (2011), quienes reportaron $246 \pm 8,22$ mg GAE/100 g de fruta fresca de cáscara utilizando extracciones por agitación con una solución de metanol ácido-agua (50:50). Además, los resultados de Simirgiotis et al., (2013) para la curuba de la variedad *P. tripartita*, donde los compuestos se aislaron mediante cromatografía centrífuga a contracorriente, mostraron $56,03 \pm 4,34$ mg de GAE/100 g de peso seco de cáscara y $22,57 \pm 1,43$ mg de GAE/100 g de peso seco de pulpa y semilla, siendo menores a los resultados obtenidos.

Durante el proceso de maduración, las frutas experimentan cambios en color, dimensión y textura, sugiriendo modificaciones en su composición que podrían afectar los polifenoles, en algunos casos, se evidenció un aumento en los fenoles totales durante la maduración, mientras que en otros casos disminuyeron (Dominguez, 2011). Este comportamiento varía según la fruta y las condiciones del entorno. La presencia y concentración de fenoles totales también están vinculadas a procesos metabólicos y de defensa de la planta, desempeñando un papel crucial en la protección contra el estrés oxidativo y otros factores ambientales (Jediyi et al., 2019). Durante la caracterización morfológica y fisicoquímica de frutas, se observaba comúnmente una alta variabilidad, ya que su comportamiento esta intrínsecamente ligado a la naturaleza. A pesar de las variaciones tan diversas, en la mayoría de los estudios concluyen que las curubas son unos de los frutos que cuenta con unas de las mayores concentraciones de fenoles totales, con presencia tanto en la pulpa, cáscara y semillas (Muñoz et al., 2007; Zapata et al., 2014).

Considerada la información previa, se logra comprender las discrepancias presentes en los diversos estudios sobre el fruto de la curuba, así como el comportamiento de los resultados analizados por Gupioc (2022). En su estudio, se evidenció que a medida que el fruto maduraba, el contenido de fenoles en la pulpa tendía a disminuir, alcanzando la mayor concentración de fenoles totales

en el estado de madurez fisiológico verde ($97,61 \pm 3,62$ mg GAE/100 g de muestra), a diferencia de la cáscara donde el contenido de fenoles tendía a aumentar, alcanzando su máximo contenido en el estado fisiológico maduro ($105,38 \pm 0,52$ mg GAE/100 g de muestra). En contraste, en los frutos examinados en esta investigación, se observa un aumento en el contenido de fenoles a medida que el fruto madura y disminuye al alcanzar el estado de madurez fisiológica. En este caso, la mayor concentración de fenoles totales se registró en la pulpa en el estado de madurez fisiológica pintón.

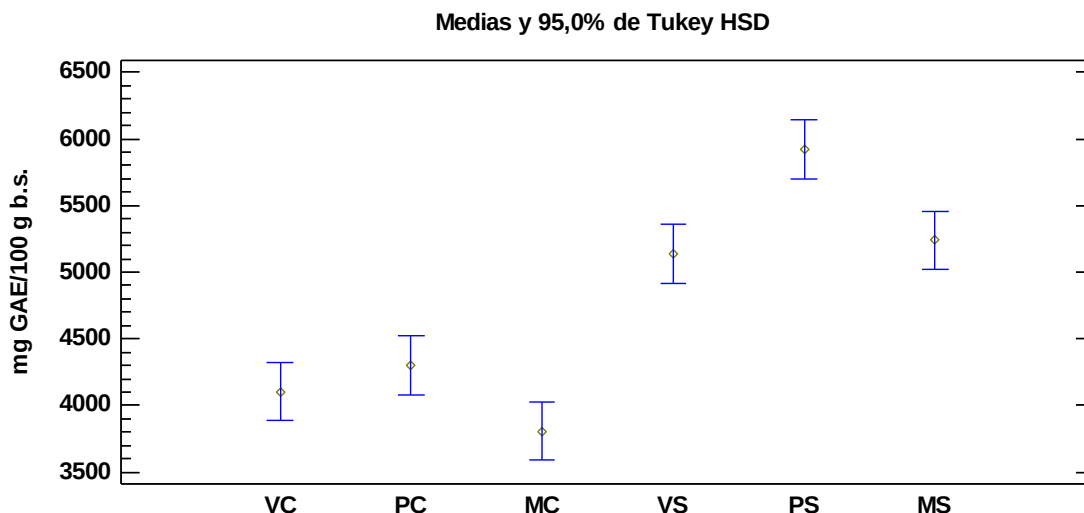
Este fenómeno no fue exclusivo de los frutos de curuba, Jedyi et al., (2019) también observaron diversos comportamientos en los niveles de fenoles totales al analizar diferentes variedades de uvas. En su estudio, sugirieron que estas variaciones podrían atribuirse a factores genotípicos, cambios morfológicos en los frutos e incluso a las condiciones ambientales.

El objetivo central fue obtener la máxima concentración de polifenoles, por lo que se consideró que el uso de pulpas en estado de madurez pintón ($7286,57 \pm 276,488$ mg GAE/100 g b.s.) era la opción más adecuada. Sin embargo, fue crucial abordar la preparación previa de estas pulpas para la extracción de los compuestos de interés, especialmente al considerar la elevada humedad típica de la pulpa, sobre todo si se aspiraba a escalar estos procesos a niveles industriales. En caso de optar por emplear pulpa fresca para la extracción, se requeriría un mayor volumen de solventes para igualar la concentración obtenida en base seca. Otra alternativa contemplada fue someter la pulpa fresca a un proceso de deshidratación o concentración previa antes de la extracción.

Adicionalmente, se planteó la opción de deshidratar y microencapsular la pulpa, evitando así la necesidad de realizar extracciones. Sin embargo, se destacó que esta última opción podría tener propósitos diferentes a los objetivos específicos de este estudio.

Asimismo, se destacó que las pulpas tenían la capacidad de ser consumidas directamente y presenta diversas aplicaciones, tanto a nivel industrial como comercial, a diferencia de las semillas y las cáscaras (Ojasild, 2009; Soto et al., 2021). Estos subproductos, en su mayoría, suelen destinarse a la dieta animal o utilizarse como abonos, lo que representaba usos con poco valor agregado y un aprovechamiento limitado de su potencial. Con la finalidad de explorar nuevas alternativas y otorgar un mayor valor agregado a los subproductos, se consideró analizar los componentes secundarios, como la cáscara y las semillas.

Figura 37. Gráfico de medias con 95% de confianza prueba de Tukey para el contenido de TPC en las cáscaras y semillas



Las diferentes partes del fruto de la curuba exhibieron un comportamiento similar en su contenido de TPC durante el proceso de maduración. Durante el desarrollo del fruto, se llevan cabo procesos metabólicos y enzimáticos que regularon la síntesis de fenoles, fomentan el desarrollo de las semillas, la acumulación de carbohidratos y el aumento de estos compuestos fenólicos. Sin embargo, estos procesos metabólicos tienden a disminuir a medida que el fruto alcanzaba la madurez. En este punto, factores como el estrés oxidativo y el inicio de la senescencia del fruto contribuyeron a la disminución de los fenoles (Olaya & Restrepo, 2012; Taiz & Zeiger, 2002).

Los fenoles son compuestos que pueden afectar la germinación de las semillas, por lo que se esperaría que las semillas tuvieran una baja concentración de estos. Sin embargo, se ha observado que las semillas de mango y de curuba (*P. tripartita*) tienen un alto contenido de fenoles comparado con otras partes del fruto (Lebaka et al., 2021; Loizzo et al., 2019). Este fenómeno también se presentó en las semillas de la muestra analizada en este estudio, aunque el nivel de fenoles fue menor que el de la pulpa en sus respectivos estados de madurez. Se encontró que las semillas en el estado fisiológico pintón ($5918,89 \pm 112,350$ mg GAE/100 g en b.s.) no tenían diferencias significativas con la pulpa verde ($5818,77 \pm 141,691$ mg GAE/100 g en b.s.) en cuanto al contenido de fenoles.

El estudio realizado permitió determinar que el uso de las semillas en estado fisiológico pintón fue la alternativa más conveniente. Estas presentaron el mayor nivel de compuestos fenólicos totales (TPC) en relación con las cáscaras y otras semillas, mostrando diferencias estadísticas significativas entre los subproductos.

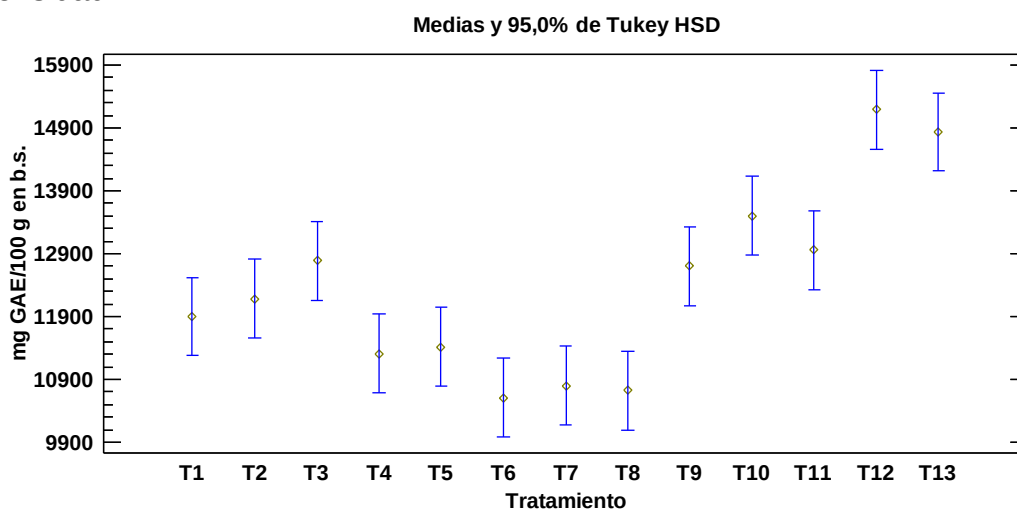
4.4 Optimización del proceso de extracción de compuestos fenólicos usando ultrasonidos de alta intensidad

Tabla 12. Contenido de TPC y actividad antioxidante en tratamientos de extracción ultrasonidos de alta intensidad

Tratamiento	TPC		Actividad antioxidante	
	mg GAE/100 g en base seca	CV	μmol Trolox/100 g en base seca	CV
T1	11897,8 ± 490,21 bcd	4,12%	21384,6 ± 86,88 c	0,41%
T2	12184,2 ± 519,23 cd	2,90%	21391,8 ± 302,89 cd	1,42%
T3	12788,9 ± 365,64 de	2,86%	20535,8 ± 169,39 ab	0,82%
T4	11313,1 ± 253,56 abc	2,24%	22164,8 ± 117,11 f	0,53%
T5	11420,2 ± 264,83 abc	2,32%	21931,8 ± 87,94 f	0,40%
T6	10612,5 ± 373,99 a	3,52%	21850,2 ± 139,07 ef	0,64%
T7	10798,9 ± 519,22 ab	4,81%	22071,7 ± 78,18 f	0,35%
T8	10720,0 ± 488,18 ab	4,55%	21799,0 ± 189,51 def	0,87%
T9	12701,6 ± 462,17 de	3,64%	22006,2 ± 94,07 f	0,43%
T10	13503,7 ± 243,17 e	1,80%	20761,9 ± 118,51 b	0,57%
T11	12957,5 ± 318,58 de	2,46%	21987,0 ± 37,89 f	0,17%
T12	15193,4 ± 565,94 f	3,72%	21461,9 ± 81,85 cde	0,38%
T13	14838,0 ± 424,46 f	2,86%	20314,2 ± 93,93 a	0,46%

4.4.1 Contenidos compuestos fenólicos totales (TPC)

Figura 38. Gráfico de Medias con Intervalo de Confianza del 95% de Tukey para el contenido de TPC en tratamientos de extracción con ultrasonidos de alta intensidad

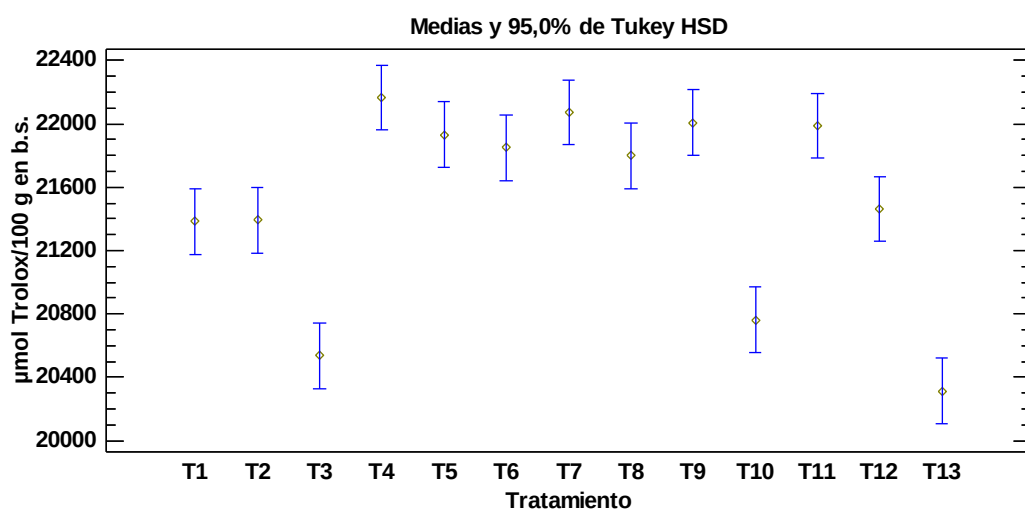


En cuanto al contenido de Compuestos Fenólicos Totales (TPC), se observó que los tratamientos T12 (25 minutos; 70 °C; 15193,4 ± 565,94 mg GAE/100 g en b.s.) y T13 (45 minutos; 70 °C; 14838,0 ± 424,46 mg GAE/100 g en b.s.) mostraron los valores más elevados de estos compuestos, revelando diferencias estadísticamente significativas en relación con los demás tratamientos. Este hallazgo apunta a que el incremento de la temperatura durante la fase de extracción favoreció la liberación de compuestos fenólicos, al mejorar la velocidad de difusión y transferencia de masa, facilitando así la solubilidad de dichos compuestos (Ozdemir et al., 2024).

Este fenómeno se corrobora al analizar los resultados del contenido de TPC en los tratamientos T1 (5 minutos; 50 °C), T2 (25 minutos; 50 °C), T4 (5 minutos; 30 °C), T5 (25 minutos; 30 °C), T6 (45 minutos; 30 °C), T7 (11 minutos; 36 °C) y T8 (39 minutos; 36 °C). En esta serie de tratamientos, la temperatura de extracción emerge como un factor crucial que incide en los niveles más bajos de los compuestos de interés, a pesar de las variaciones en el tiempo. Se puede inferir, por lo tanto, que, a temperaturas más bajas, los tiempos de extracción debieron prolongarse, como se evidencia en el tratamiento T3 (45 minutos; 50 °C; 12788,9 ± 365,64 mg GAE/100 g b.s.), aunque no presenta diferencias estadísticamente significativas con T1 (11897,8 ± 490,21 mg GAE/100 g en b.s.) y T2 (12184,2 ± 519,23 mg GAE/100 g en b.s.), se registra un leve incremento en el contenido de TPC.

4.4.2 Actividad antioxidante

Figura 39. Gráfico de Medias con Intervalo de Confianza del 95% de Tukey para la actividad antioxidante en tratamientos de extracción con ultrasonidos de alta intensidad



Durante el estudio, se evaluó la actividad antioxidante en diferentes tratamientos de extracción. Los resultados mostraron que los tratamientos T4 (5 minutos; 30 °C), T5 (25 minutos; 30 °C), T6 (45 minutos; 30 °C), T7 (11 minutos; 36 °C), T8 (39 minutos; 36 °C), T9 (11 minutos; 64 °C) y T11 (5 minutos; 70 °C) exhibieron la mayor actividad antioxidante, sin presentar diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Sin embargo, los tratamientos T10 (39 minutos; 64 °C; $20761,9 \pm 118,51$ $\mu\text{mol Trolox /100 g en b.s.}$) y T13 (45 minutos; 70 °C; $20314,2 \pm 93,93$ $\mu\text{mol Trolox /100 g en b.s.}$), caracterizados por tiempos de extracción prolongados a temperaturas más elevadas, presentaron una actividad antioxidante notablemente inferior en comparación con los tratamientos T9 ($22006,2 \pm 94,07$ $\mu\text{mol Trolox /100 g en b.s.}$) y T11 ($21987,0 \pm 37,89$ $\mu\text{mol Trolox /100 g en b.s.}$) a la misma temperatura.

Estos hallazgos indican que, al trabajar a temperaturas más altas, los tiempos de extracción deben ser menores para mantener la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. Este fenómeno sugiere que las altas temperaturas y los tiempos prolongados de extracción podrían haber causado una disminución significativa en la actividad antioxidante debido a la oxidación de los compuestos de interés (Ozdemir et al., 2024).

4.4.3 Implementación de modelo matemático

Teniendo en cuenta los parámetros y los resultados de cada tratamiento, se establecen los modelos matemáticos que relacionen polifenoles totales y DPPH para las condiciones de tiempo y temperatura, a través de la herramienta Curve Fitting Toolbox de MATLAB®.

4.4.3.1 Modelo matemático para el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC)

Para el contenido de TPC, el polinomio que mejor se ajustó a los datos fue un modelo Polinomial grado 3 para **x** (temperatura) y grado 3 para **y** (tiempo), con un ajuste del 88,68% y un error estándar del 573,3.

Donde:

- **R-cuadrado:** puede asumir un valor entre 0 a 1, cuanto más se acerca el valor a 1 indica que el modelo explica una mayor proporción de varianza.
- **Raíz del error cuadrático medio:** entre más cercano valor a 0 indica un ajuste que es más útil para la predicción.

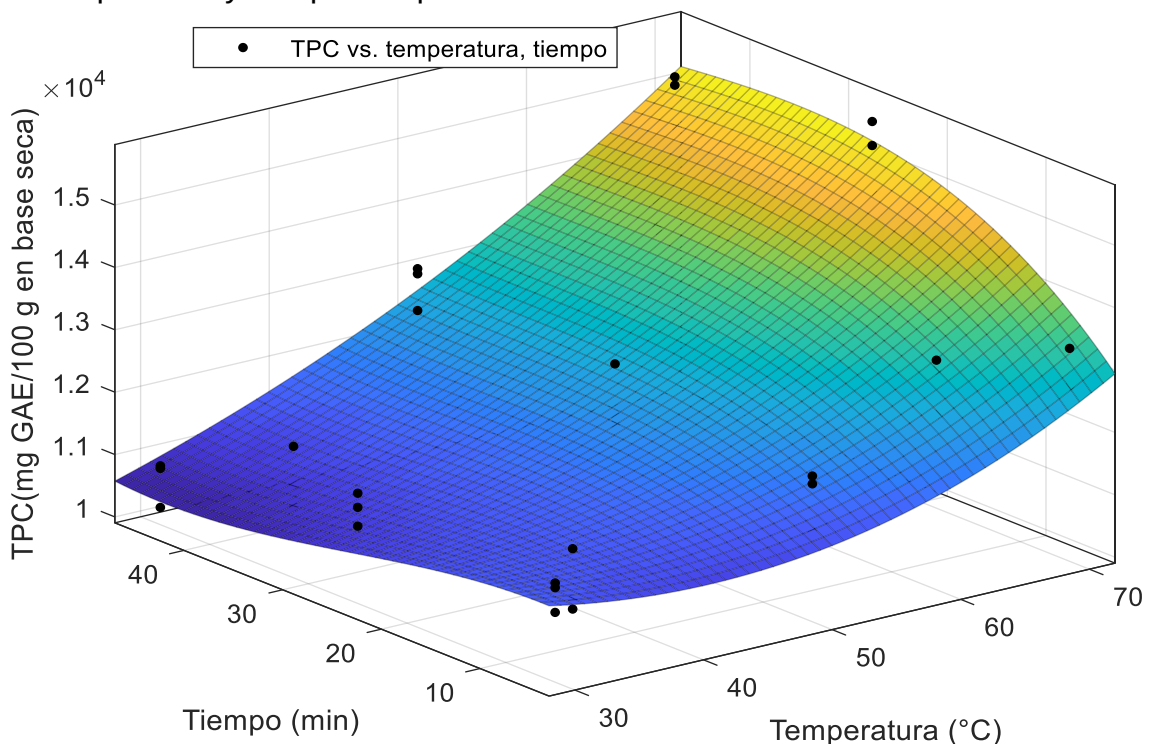
Ecuación 8. Modelo lineal Polinomio de tercer grado para el contenido de TPC.

$$f(\text{tem}, t) = 1,399e + 04 - 131,1 * \text{tem} - 140,4 * t + 1,152 * \text{tem}^2 + 6,013 * \text{tem} * t - 0,5008 * t^2 + 0,005031 * \text{tem}^3 - 0,01882 * \text{tem}^2 * t - 0,05239 * \text{tem} * t^2 + 0,02864 * t^3 \quad (\text{Ecuación 8})$$

R-cuadrado: 0,8868

Raíz del error cuadrático medio: 573,3

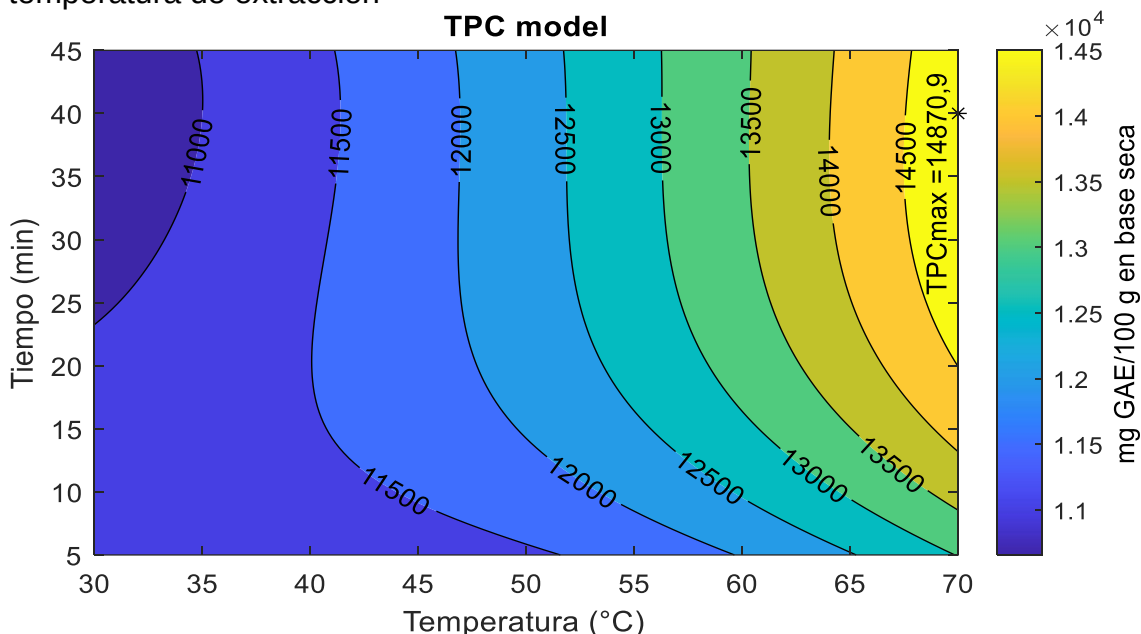
Figura 40. Superficie de respuesta del Contenido de TPC sobre los efectos de la temperatura y tiempo de aplicación de ultrasonido



La modelación del proceso de extracción de compuestos fenólicos ha establecido que, en condiciones de bajas temperaturas, el contenido de TPC se reduce considerablemente sin importar la duración del tiempo de extracción aplicado. No obstante, es evidente que al aumentar la temperatura y prolongar el tiempo de extracción, se produce un incremento significativo en la cantidad de TPC.

Por medio del modelo matemático y del programa MATLAB® (anexo 12) se establecen los parámetros óptimos para la extracción de TPC por ultrasonidos de alta intensidad, alcanzando un valor máximo de 14870,9 mg GAE/ 100 g en base seca en condiciones de temperatura de 70 °C y 40 minutos de extracción.

Figura 41. Gráfica de contorno para optimizar TPC en función del tiempo y la temperatura de extracción



A partir del modelo del contorno, se observó un patrón lineal en la extracción de los compuestos fenólicos totales de la semilla de la curuba (*P. tripartita* var. *mollissima*) mediante ultrasonido de alta intensidad, el cual se ajustaba al incremento tanto de la temperatura como del tiempo. Este fenómeno se explicaba por la transferencia de masa y el aumento de la permeabilidad del tejido vegetal, procesos facilitados por la temperatura y la cavitación acústica durante la extracción.

Los resultados obtenidos sugieren que el aumento de la temperatura durante la extracción favoreció notablemente la liberación de compuestos fenólicos. Este efecto se atribuía a la mejora en la velocidad de difusión y transferencia de masa, lo que facilitaba la solubilización de estos compuestos en el medio de extracción. Es importante destacar que la cavitación acústica generada durante el proceso de ultrasonido también contribuyó a la ruptura de las estructuras celulares, aumentando así la liberación de los compuestos bioactivos presentes en la semilla de curuba (Ballesteros-Vivas et al., 2019; Che-Galicia et al., 2020; Chemat et al., 2017).

4.4.3.2 Modelo matemático para la actividad Antioxidante

Para la actividad antioxidante el polinomio que mejor se ajustó a los datos fue un modelo Polinomial grado 3 para *x* (temperatura) y grado 3 para *y* (tiempo), con un ajuste del 91,47% y un error estándar del 204,4.

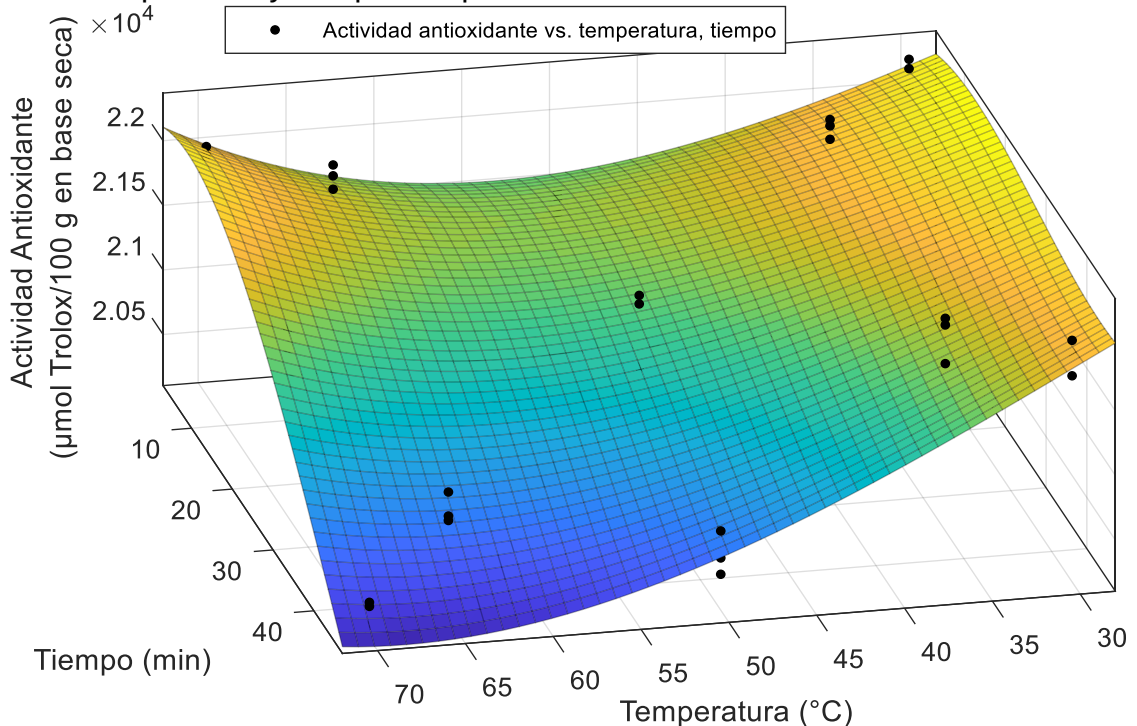
Ecuación 9. Modelo Polinomial de tercer grado para Actividad Antioxidante.

$$f(tem, t) = 2,349e + 04 - 37,86 * tem + 4,499 * t - 0,8073 * tem^2 + 1,193 * tem * t - 0,9067 * t^2 + 0,01453 * tem^3 - 0,009056 * tem^2 * t - 0,02419 * tem * t^2 + 0,01893 * t^3 \quad (\text{Ecuación 9})$$

R-cuadrado: 0,9147

Raíz del error cuadrático medio: 204,4

Figura 42. Superficie de respuesta de la Actividad Antioxidante sobre los efectos de la temperatura y tiempo de aplicación de ultrasonido



El estudio de la actividad antioxidante de las semillas de curuba revela un comportamiento inverso al modelo TPC. En otras palabras, las máximas actividades se encuentran en tiempos cortos de extracción, mientras que a medida que este aumenta, se observa una disminución de la capacidad antioxidante. Esta tendencia se explica por la degradación de los compuestos antioxidantes durante el proceso de extracción, lo que genera una pérdida gradual de su potencial protector.

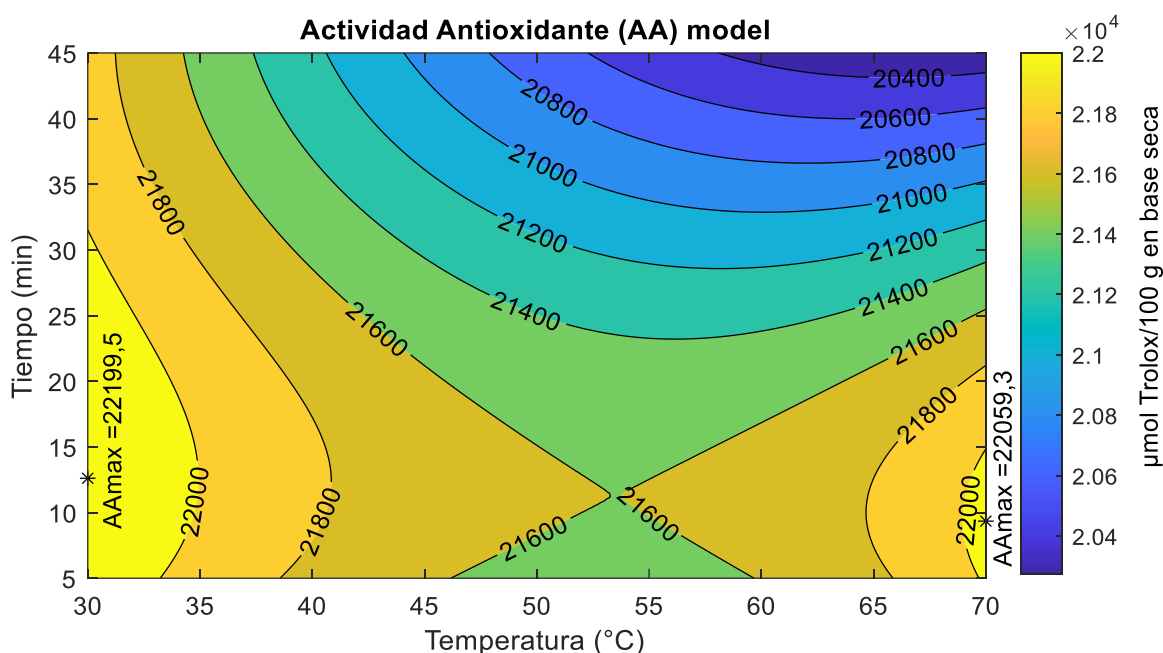
La influencia de la temperatura también juega un papel crucial. A temperatura constante, la actividad antioxidante varía en función del tiempo de extracción. Se pueden identificar dos picos de máxima actividad antioxidante a diferentes temperaturas, pero con tiempos de extracción casi similares. Esto indica que la variación en la actividad antioxidante es más sensible al tiempo que a la temperatura. A medida que transcurre el tiempo, se produce una disminución en la actividad antioxidante, especialmente a temperaturas elevadas.

Los ultrasonidos de alta intensidad no solo aumentan el rendimiento de extracción de polifenoles, sino que también preservan y mejoran la actividad antioxidante. Este efecto se debe a la capacidad del ultrasonido para mejorar la extracción de compuestos antioxidantes de la matriz vegetal. Las ondas ultrasónicas generan energía que rompe las paredes celulares de las plantas, facilitando la liberación de los compuestos antioxidantes. Además, el ultrasonido facilita la penetración del solvente en la matriz vegetal, lo que mejora la eficiencia de la extracción y aumenta la concentración de compuestos antioxidantes en el extracto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la exposición prolongada a ultrasonido puede provocar la degradación de los compuestos antioxidantes en algunos casos, lo que podría reducir su actividad antioxidante (Dzah et al., 2020). Por lo tanto, estos estudios permiten comprender la naturaleza fisicoquímica de las semillas en estado fisiológico pintón.

El modelo matemático para la actividad antioxidante (figura 43, anexo 13) arrojó dos puntos con actividad antioxidante máxima, en 12,61 minutos con 30 °C (punto uno) y en 9,34 minutos con 70 °C (punto dos), obteniendo 22199,5 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$ en base seca y 22059,34 $\mu\text{mol Trolox}/100\text{ g}$ en base seca, ambos resultados con una gran diferencia de temperatura en tiempos de extracción bajos.

En cuanto a la actividad antioxidante, el punto uno exhibió una mayor capacidad de neutralización de radicales libres de DPPH, a pesar de esto, para determinar cuál punto es más favorable en términos de costos, se tomaron en consideración los parámetros evaluados. La diferencia más notable entre ellos es la temperatura de extracción. La cavitación induce un aumento de la temperatura, lo que requiere que ambos puntos cuenten con un mecanismo de enfriamiento para mantener la temperatura estable (Soria & Villamiel, 2010). Además, el punto dos necesita un aumento de la temperatura, lo que implica un precalentamiento y, por ende, un mayor costo. Por lo tanto, se considera que el punto uno sería la opción más viable en términos de costos. Sin embargo, los parámetros óptimos se determinaron en función de la deseabilidad global para los TPC y la actividad antioxidante.

Figura 43. Gráfica de contorno para optimizar la actividad antioxidante (AA) en función de la temperatura y tiempo de extracción



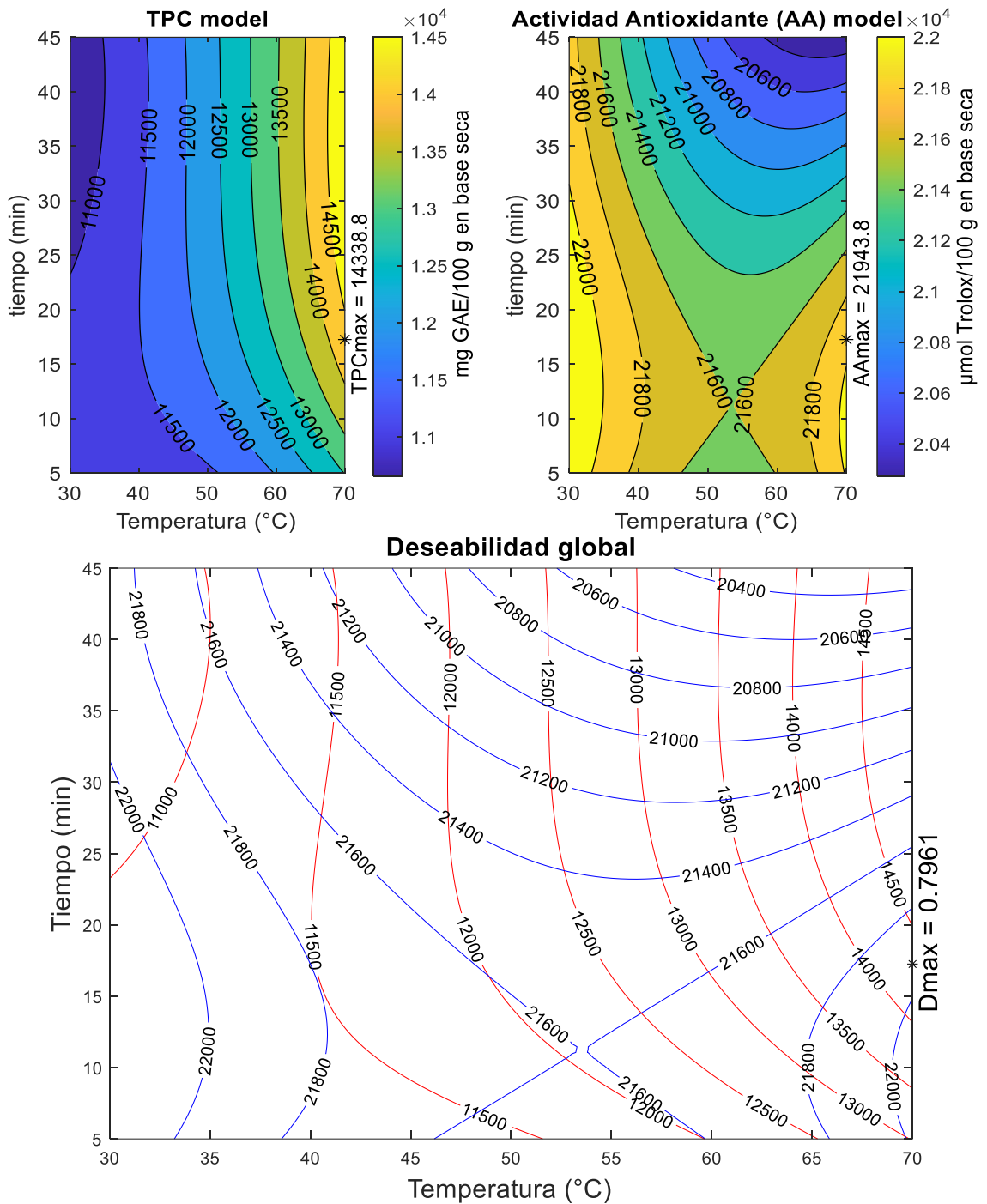
4.4.4 Deseabilidad global para maximización del punto óptimo de TPC y AA en función de la temperatura y tiempo de extracción

El gráfico de contornos (figura 44) indica que la actividad antioxidante de las semillas de curuba no depende únicamente del contenido de fenoles totales. Esto sugiere la presencia de compuestos fenólicos termolábiles de fácil solubilidad y degradación que influye en la actividad antioxidante. Hasta el momento, se han identificado 61 fitoquímicos en la semilla, lo que sugiere que algún compuesto fenólico termolábil podría ser responsable del comportamiento observado en la actividad antioxidante. (Ballesteros-Vivas et al., 2019; Chemat et al., 2017).

Con el fin de realizar la optimización multicriterio se buscó maximizar el contenido de TPC y Actividad Antioxidante simultáneamente haciendo uso de la optimización gráfica a través de contornos sobrepuestos de cada variable respuesta (figura 44), lo cual dio como resultado una orientación sobre las regiones que son comunes para los valores óptimos de los criterios y posteriormente se aplicó la función de deseabilidad Derringer, permitiendo establecer que el punto óptimo multicriterio se encuentra en un área común donde los valores de TPC y Actividad Antioxidante son altos alcanzando una deseabilidad de 0,796 que si bien no es igual a 1, es un valor significativo teniendo en cuenta que se debe conciliar entre los dos criterios para obtener valores altos de las dos variables respuestas. El proceso de extracción por ultrasonidos de alta intensidad se logrará optimizar empleando un tiempo de

extracción de 17,258 minutos a una temperatura de 70 °C para obtener una concentración de TPC de 14338,8 mg GAE/100 g en base seca y una Actividad Antioxidante de 21943,8 $\mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ en base seca.

Figura 44. Gráfico de contornos con las estimaciones de los modelos de TPC y DPPH y la deseabilidad con el punto óptimo multicriterio



4.5 Obtención y caracterización de microcápsulas de polifenoles mediante secado por aspersión

Para la extracción de los compuestos de interés se emplearon 2500 mg de semilla seca de curuba en estado de madurez pintón con una humedad del 7% y 500 mL de solución de etanol/agua 60:40 v/v. La extracción se llevó a cabo mediante ultrasonido de alta intensidad a 70 °C durante 17,258 minutos, con una frecuencia ultrasónica de 40 KHz y una potencia de ultrasonido de 160 W.

El extracto obtenido se filtró y se adicionaron 25 gramos de maltodextrina. Las microcápsulas se obtuvieron mediante el proceso de secado por aspersión, con modificaciones en los parámetros de secado.

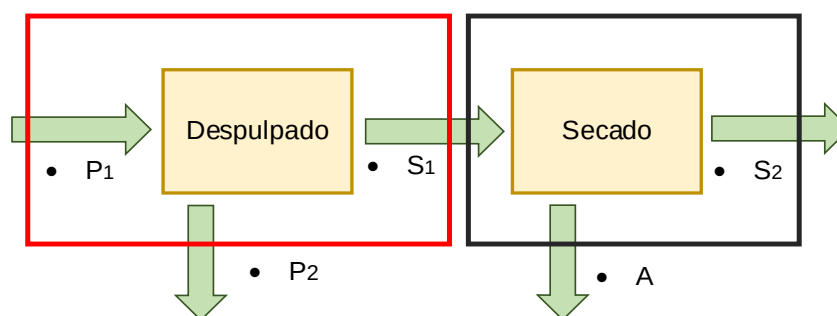
Tabla 13. Modificaciones de los parámetros de secado de las microcápsulas de polifenoles por atomización

Parámetro	Valor
Alimentación de la muestra	1900 ml/h
Temperatura de entrada del aire	160°C
Temperatura de salida de la muestra	60°C
Presión	5-8 bar
Aire de secado	35 m ³ /h
Velocidad de aspersión	5 s

4.5.1 Rendimiento del proceso

Teniendo en cuenta la información adquirida a lo largo del proceso de la investigación se planteó un balance de materia específico para determinar la cantidad de fruto fresco en estado pintón requerido para realizar el proceso de extracción de compuestos fenólicos.

Figura 45. Balance de materia planteado respecto a los procesos de despulpado y secado



Balance de materia específico con base en la humedad de la semilla para el proceso de secado.

$$S_1 h_1 = S_2 h_2 + A \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde:

S_1 = Semillas en base humedad

h_1 = % de humedad de las semillas en base humedad (b. h.)

S_2 = Semillas en base seca

h_2 = % de humedad de las semillas en base seca (b. s.)

A = Agua retirada

$$S_1 * 0,4635 = 2,5g * 0,07 + A$$

$$S_1 * 0,4635 - 0,175g = A$$

Balance de materia general para el proceso de secado.

$$S_1 = S_2 + A \quad \text{(Ecuación 11)}$$

$$S_1 = 2,5g + S_1 * 0,4635 - 0,175g$$

$$S_1 - S_1 * 0,4635 = 2,5gr - 0,175g$$

$$S_1 * 0,5365 = 2,325g$$

$$S_1 = \frac{2,325g}{0,5365}$$

$$S_1 = 4,33 \text{ g de semilla en base humedad}$$

Para determinar el rendimiento del secado por aspersión se tiene en cuenta que se adicionaron 25 gramos de maltodextrina y se obtuvo alrededor de 15,774 g de compuestos de interés microencapsulado.

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Peso de las microcápsulas}}{\text{Peso total}}$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{15,774 \text{ g}}{25 \text{ g de maltodextrina}} * 100$$

$$\text{Rendimiento}(\%) = 63,09\%$$

Estos cálculos permitieron determinar que se requieren 4,33 g de semillas frescas (base humedad) para obtener 15,774 g de microcápsulas de fenoles, con un rendimiento del secado por aspersión del 63,09%. Este resultado se encuentra dentro del rango de valores obtenidos por Tolun et al. (2016), quienes microencapsularon extractos de polifenoles de uva con un recubrimiento de maltodextrina al 9% mediante secado por aspersión, obteniendo rendimientos de secado entre el 44,7% y el 64,9%.

4.5.2 Caracterización y validación de las microcápsulas

Se obtuvieron 15,774 g de microcápsulas de polifenoles. El análisis de las coordenadas CIE L*a*b* reveló que las microcápsulas exhibieron un color con una leve dominancia hacia el amarillo (eje b: 9,24), con una influencia mínima del color rojizo (eje a: 0,84). Las microcápsulas de polifenoles no exhibieron un sabor ni un aroma distintivo. Los análisis microbiológicos realizados para moho, levaduras, *Salmonella* sp y *E. coli* no detectaron ninguna unidad formadora de colonias (UFC).

La coloración ligeramente amarilla de las microcápsulas podría estar relacionada con la presencia de flavonoles, flavonas, flavononas e isoflavononas, compuestos fitoquímicos identificados en las semillas de *Passiflora tripartita* var. *mollissima* que también presentan un color amarillento o de marfil (Ballesteros-Vivas et al., 2019; Martínez- Valverde et al., 2000).

Tabla 14. Caracterización de las microcápsulas de polifenoles

Descriptores		
Humedad (%)	7,17 ± 0,171	
Sin olor	No característico	
Sabor	No característico	
CIE L*a*b*	L:89,06 a:0,84 b:9,24	
Actividad antioxidante (µmol Trolox/ 100 g)	21349,98 ± 814,95	
moho y lavadura (UFC/g)	0 UFC/g	
<i>Salmonella</i> sp. (UFC/g)	0 UFC/g	
<i>E. coli</i> (UFC/g)	0 UFC/g	

Figura 46. Microcápsulas de compuestos polifenólicos obtenidas por secado por aspersión (a). Peso de compuestos de interés obtenidos durante el proceso de secado (b)

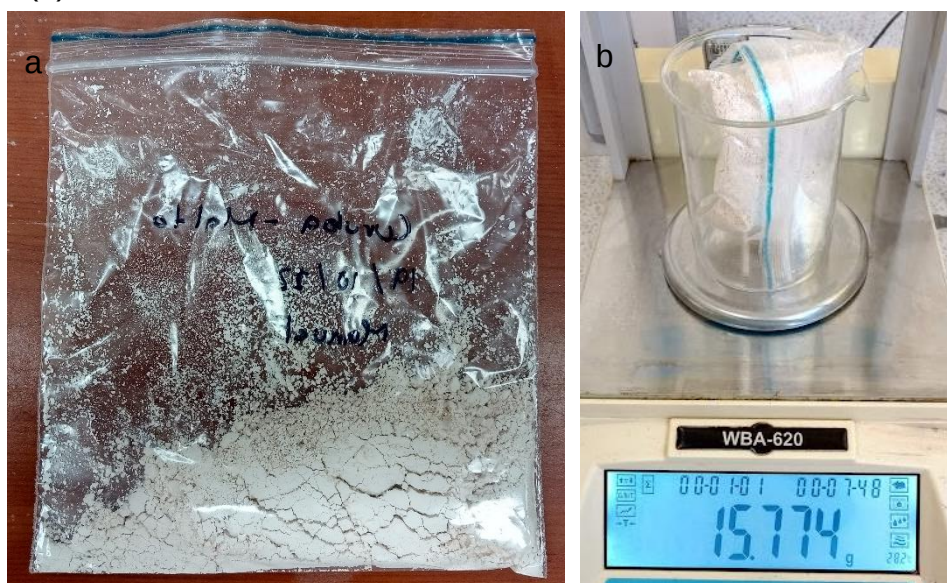
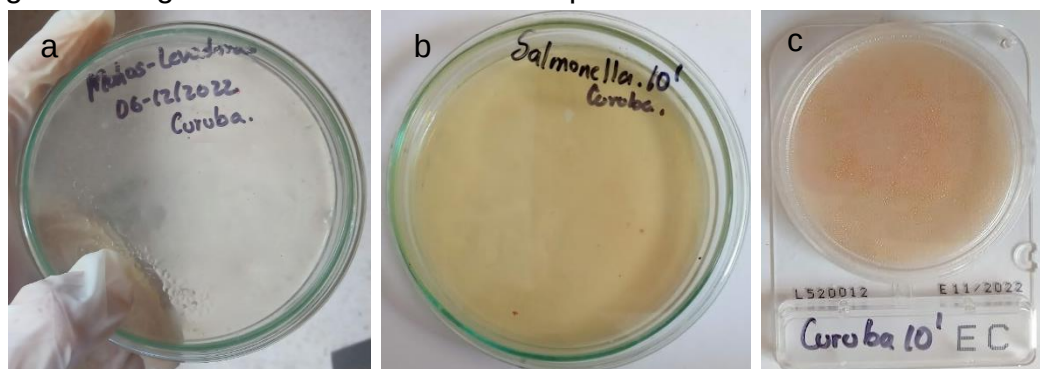


Figura 47. Recuento de UFC en (a) Agar PDA, (b) Agar Salmonella Shigella y (c) Agar Cromogénico E. coli-Coliformes sin presencia de colonias.



Las microcápsulas de polifenoles tienen un amplio rango de aplicaciones potenciales, incluyendo su uso como suplemento de consumo humano, aditivo para la conservación de la calidad nutricional de los alimentos y como constituyente necesario en la elaboración de alimentos específicos (Resolución 2606 De 2009 Artículo 5). Es importante destacar que durante los diferentes procesos de extracción se aplicaron los principios de Buenas Prácticas de Manufactura, tal como se establece en la Resolución 2674 de 2013. Estos principios son esenciales para garantizar la inocuidad del producto final.

Se considerará que se da cumplimiento en su totalidad de los objetivos planteados, obteniendo unas microcápsulas de polifenoles aptos para el

consumo humano. No se considera el residual máximo permitido del disolvente de etanol ya que su toxicidad es baja y el Real Decreto 1101/2011 no establece un límite máximo y permite su uso respetando las buenas prácticas de fabricación. El producto es inocuo microbiológicamente dado que ninguno de los medios de cultivo se evidenció el desarrollo de unidades formadoras de colonia para *E. coli*, *Salmonella* sp., mohos y levadura. Por otro lado, las microcápsulas de polifenoles no presentan un sabor ni un olor característico, lo que significa que no alterarían el sabor del producto final ni dificultarían su consumo puro.

El proceso de microencapsulación permite un mejor aprovechamiento del subproducto del fruto de curuba, ya que se requieren 4,33 gramos de semilla fresca para obtener 15,774 gramos de microencapsulado, con un rendimiento del secado por aspersión del 63,09%. Sin embargo, este rendimiento sugiere la necesidad de continuar mejorando la optimización del proceso en futuras investigaciones, particularmente enfocándose en el proceso de secado por aspersión para lograr rendimientos aún más altos. Además, se podría considerar el uso potencial de la cáscara para la obtención de polifenoles, lo que permitiría un aprovechamiento más completo de los subproductos del fruto. Adicionalmente, se podrían realizar investigaciones sobre la incorporación de microcápsulas de compuestos fenólicos del fruto de curuba, estas investigaciones permitirían evaluar su impacto en el uso y aplicaciones en las industrias como la farmacéutica, alimentaria y cosmética.

5. CONCLUSIONES

- Los resultados del estudio permitieron concluir que la fruta de curuba presentaba sus mayores concentraciones de TPC en el estado de madurez pintón, especialmente en sus semillas.
- Se comprobó cómo la temperatura y el tiempo de extracción influían en la obtención de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante de las semillas de curuba, los tiempos de extracción prolongados aumentaron la concentración de fenoles totales debido a una mejor ruptura de las paredes celulares facilitada por el ultrasonido de alta intensidad, permitiendo una mayor penetración del solvente y liberación de compuestos, mientras que la temperatura, por su parte, facilitaba la solubilidad de los mismos. Sin embargo, se observó una disminución de la actividad antioxidante con tiempos de extracción prolongados debido a la degradación de estos. Por medio de los análisis del comportamiento mencionado se logró establecer que el punto ideal para alcanzar la mayor concentración de compuestos fenólicos con actividad antioxidante fue a una temperatura de 70 °C durante un lapso de 17 minutos de extracción.
- Se logró obtener microcápsulas de compuestos de la semilla de curuba con un extracto equilibrado en compuestos fenólicos y actividad antioxidante, logrando un rendimiento del secado por aspersión del 63,09%. No obstante, este rendimiento podría mejorarse mediante la optimización del secado por aspersión, asegurando la obtención de parámetros que garantizarán una mayor producción de microcápsulas y actividad antioxidante.
- El proceso de secado por aspersión produjo un polvo seco, con microcápsulas que mostraban una destacada actividad antioxidante, un ligero color amarillo y sin sabor ni olor distintivos, siendo seguras para el consumo. Se observó que el extracto microencapsulado conservaba una alta actividad antioxidante, sugiriendo que la técnica no afectaba negativamente las propiedades funcionales de los compuestos, por ende, se concluyó que las microcápsulas de semillas de curuba podrían emplearse como ingredientes funcionales en diversos productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos.
- Tras analizar los resultados obtenidos del fruto de curuba (*P. tripartita* var. *mollissima*) en sus diferentes estados fisiológicos de maduración, procedentes de la vereda Colón, municipio de Algeciras, Huila, se concluyó que las semillas de curuba en estado fisiológico pintón podrían ser empleadas para la obtención de compuestos fenólicos, los cuales, a

través de procesos de microencapsulación, podrían conservar sus propiedades para ser utilizados posteriormente en aplicaciones industriales o en consumo humano.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agronet MinAgricultura. (n.d.-a). *Comparativo de Área, Producción, Rendimiento y Participación Departamental por Cultivo*.
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=3>
- Agronet MinAgricultura. (n.d.-b). *Participación Departamental en la Producción y en el Área Cosechada*.
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=2>
- Alvira, G. (1993). *Identificación de la tecnología local de producción y manejo postcosecha de lulo, curuba y tomate de árbol* [Tesis de pregrado]. Universidad Surcolombiana.
- Angel, H. (1995). *Mercadeo del lulo, la curuba y el tomate de árbol en el municipio de La Plata* [Tesis de pregrado]. Universidad Surcolombiana.
- Bahamón, A. (2022). *Potential of dried coffee pulp (sultana) as a beverage: Health - promoting substances in dependence of different processing parameters* [Tesis de magíster]. Universidad Surcolombiana.
- Ballesteros-Vivas, D., Alvarez-Rivera, G., Ibáñez, E., Parada-Alfonso, F., & Cifuentes, A. (2019). Integrated strategy for the extraction and profiling of bioactive metabolites from *Passiflora mollissima* seeds combining pressurized-liquid extraction and gas/liquid chromatography–high resolution mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1595, 144–157.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.02.031>
- Banožić, M., Vladić, J., Banjari, I., Velić, D., Aladić, K., & Jokić, S. (2023). Spray Drying as a Method of Choice for Obtaining High Quality Products from Food Wastes– A Review. *Food Reviews International*, 39(4), 1953–1985.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1938601>
- Barbosa, A., & Covalada, M. (2021). *Extracción y análisis químico de pectinas del fruto de la especie Passiflora Tarminiana (Curuba India)* [Tesis de pregrado]. Universidad Surcolombiana.
- Barrera, M. (1996). *Evaluación de la calidad rendimiento y almacenamiento de pulpas de Curuba (Passiflora Mollistima (H.B.K) Bailey) y lulo (Solanum quitoense Lam) Producidos en el Huila con fines agroindustriales* [Tesis de pregrado]. Universidad Surcolombiana.
- Bernal, I. (1998). *Análisis de Alimentos* (3 ed). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1998.
<https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/54>
- Boñón, C., Vejarano, R., & Salas, F. (2020). Effect of tunnel drying, freeze-drying and spray-drying on antioxidant activity and phenolic compounds of

huacatay. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*.

- Botía-Niño, Y., Almanza-Merchán, P., & Balaguera-López, H. (2008). Efecto de la temperatura sobre la maduración complementaria en curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 11(2), 187–196. <https://doi.org/https://doi.org/10.31910/rudca.v11.n2.2008.635>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Calderón, J., Marroquin, A., Luviano, L., Maqueda, V., Marín, E., & Calderón, A. (2019). Sonido, Ultrasonido y Cavitación. *Latin-American Journal of Physics Education*, 13(4). http://www.lajpe.org/index_dec19.html
- Cao, H., Saroglu, O., Karadag, A., Diaconeasa, Z., Zoccatelli, G., Conte-Junior, C., Gonzalez-Aguilar, G., Ou, J., Bai, W., Zamarioli, C., de Freitas, L., Shpigelman, A., Campelo, P. H., Capanoglu, E., Hii, C. L., Jafari, S., Qi, Y., Liao, P., Wang, M., ... Xiao, J. (2021). Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. *Food Frontiers*, 2(2), 109–139. <https://doi.org/10.1002/FFT2.65>
- Carvajal, L. M., Turbay, S., Marelly Álvarez, L., Rodríguez, A., Alvarez, M., Bonilla, K., Restrepo, S., & Parra, M. (2014). Propiedades Funcionales Y Nutricionales De Seis Especies De *Passiflora* (Passifloraceae) Del Departamento Del Huila, Colombia. *Caldasía*, 36(1), 1–15. <https://doi.org/10.15446/caldasias.v36n1.21243>
- Casanova, F., & Santos, L. (2016). Encapsulation of cosmetic active ingredients for topical application – a review. *Journal of Microencapsulation*, 33(1), 1–17. <https://doi.org/10.3109/02652048.2015.1115900>
- Chaparro, D., Maldonado, M., Franco, M., & Urango, L. (2015). Características nutricionales y antioxidantes de la fruta curuba larga (*Passiflora mollissima* Bailey). *Perspectivas En Nutrición Humana*, 16(2), 203–212. <https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.penh.v16n2a07>
- Chaparro-Roja, D., Maldonado, M., Urango, L., & Alberto, B. (2015). Propiedades quimiopreventivas de *Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey (curuba larga) contra cáncer colorrectal | Chaparro R. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20(1), 62–74.
- Che-Galicia, G., Váquiro-Herrera, H., Sampieri, Á., & Corona-Jiménez, E. (2020). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from avocado leaves (*Persea americana* Mill. var. *Drymifolia*): Optimization and modeling. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 18(7). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2020-0023>

- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540–560. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2016.06.035>
- Chopra, A. S., Lordan, R., Horbańczuk, O. K., Atanasov, A. G., Chopra, I., Horbańczuk, J. O., Jóźwik, A., Huang, L., Pirgozliev, V., Banach, M., Battino, M., & Arkells, N. (2022). The current use and evolving landscape of nutraceuticals. *Pharmacological Research*, 175, 106001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.phrs.2021.106001>
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44(7), 2047–2053. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.003>
- Cuy, C., & Rodríguez, F. (2021). *Estudio químico y microbiológico de los aceites esenciales de la Curuba India (Passiflora tarminiana) para el diseño y aplicación de un simulador de laboratorio en estudiantes de Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental* [Tesis de pregrado]. Universidad Surcolombiana.
- DANE. (2022, June 6). *Sistema de información de precios (SIPSA), Series Históricas Por Componente*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa#precios-mayoristas>
- Dominguez, C. (2011). *Contenido de compuestos Bioactivos y su contribución a la capacidad antioxidante durante la maduración de Piña Cv. "Esmeralda"* [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.]. <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/179>
- Dzah, C., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020). The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100547>
- Esquivel-González, B., Ochoa Martínez, L., & Rutiaga-Quiñones, O. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180–192.
- Fernandez-Panchon, M., Villano, D., Troncoso, A., & Garcia-Parrilla, M. (2008). Antioxidant Activity of Phenolic Compounds: From In Vitro Results to In Vivo Evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(7), 649–671. <https://doi.org/10.1080/10408390701761845>

- Figuerola, G. (2020). *Desarrollo de una matriz encapsulante a base de almidón, cera de candelilla y nanoplateletas de óxido de grafeno* [Tesis de pregrado]. Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez.
- Fu, Y., Zhang, K., Wang, N., & Du, J. (2007). Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on polyphenol oxidases from Golden Delicious apple. *LWT - Food Science and Technology*, 40(8), 1362–1368. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2006.11.001>
- García, C., González, M., Ochoa, L., & Medrano, H. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersion. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(4), 262–266.
- Gupioc, M. (2022). *Evaluación del contenido de polifenoles, carotenoides y actividad antioxidante en Passiflora tripartita var. Mollissima “pur pur” según lugar de procedencia y estado de maduración* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas]. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3125>
- Gutiérrez, H., & Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma* (Segunda edición).
- ICONTEC. (1999). Norma Técnica Colombiana NTC 4623. Productos de frutas y verduras. Determinación de la acidez titulable. In *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)* (NTC 4623).
- IDEAM. (n.d.). Atlas Climatológico de Colombia. In *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM*.
- Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821–1835. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.12.026>
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola, & Asociación de Horticultores y Fruticultores de Colombia ASOHOFRUCOL. (2012). *Manejo integrado del cultivo de la curuba (Passiflora tripartita var. mollissima Holm Nielsen y Jorgensen)*.
- Jediyi, H., Naamani, K., Ait Elkoch, A., Dihazi, A., El Alaoui El Fels, A., & Arkize, W. (2019). First study on technological maturity and phenols composition during the ripeness of five Vitis vinifera L grape varieties in Morocco. *Scientia Horticulturae*, 246, 390–397. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2018.10.052>
- Lebaka, V., Wee, Y., Ye, W., & Korivi, M. (2021). Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Three Different Parts of Mango Fruit. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18020741>

- Loizzo, M., Lucci, P., Núñez, O., Tundis, R., Balzano, M., Frega, N., Conte, L., Moret, S., Filatova, D., Moyano, E., & Pacetti, D. (2019). Native Colombian Fruits and Their by-Products: Phenolic Profile, Antioxidant Activity and Hypoglycaemic Potential. *Foods*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/FOODS8030089>
- Ma, G., & Chen, Y. (2020). Polyphenol supplementation benefits human health via gut microbiota: A systematic review via meta-analysis. *Journal of Functional Foods*, 66, 103829. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2020.103829>
- Martínez, D., & Ruiz, L. (2022). *Efecto del secado convectivo bajo diferentes condiciones, en Aloe Vera (Aloe Barbadensis) sobre algunas propiedades fisicoquímicas y microbiológicas* [Tesis de pregrado]. Universidad Surcolombiana.
- Martínez- Valverde, I., Periago, M., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000100001
- Mayorga, M. (2016). *Caracterización ecofisiológica de curuba (Passiflora tripartita var. mollissima) en dos condiciones ambientales* [Tesis de Magister, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59400>
- Meek, E., & Aldana, H. (2012). Lineamientos de política para el sector hortofrutícola. *Revista De La Asociación Hortifrutícola De Colombia, Asohofrucol*, 13, 32–33.
- Miao, Z., Lv, R., Teng, S., Cao, C., & Lu, P. (2022). Development of antioxidant active packaging films with slow release properties incorporated with tea polyphenols-loaded porous starch microcapsules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 403–412. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.09.143>
- Minagricultura. (2021). *CADENA DEL PASIFLORAS Indicadores e instrumentos*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Comercio, I. y T. (2024). *Perfiles Económicos Departamentales*.
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. (2009). *RESOLUCIÓN 2606 DE 2009*.
- Ministerio de Sanidad. (2011). *Real Decreto 1101/2011, de 22 de julio, por el que se aprueba la lista positiva de los disolventes de extracción que se pueden utilizar en la fabricación de productos alimenticios y de sus ingredientes*. Órgano Legislativo. <https://www.saludcastillayleon.es/institucion/es/recopilacion->

normativa/seguridad-alimentaria/normativa-general-control-oficial-
alimentos/real-decreto-1101-2011-22-julio-aprueba-lista-positiva-diso

MINISTRO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. (2013). *RESOLUCIÓN 2674 DE 2013*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/604808/1962.pdf/abe38fb4-e74d-4dcc-b812-52776a9787f6>

Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioprocess Processing*, 92(3), 252–258. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2013.08.003>

Mola, S., Uthairatanakij, A., Srilaong, V., Aiamla-or, S., & Jitareerat, P. (2016). Impacts of sodium chlorite combined with calcium chloride, and calcium ascorbate on microbial population, browning, and quality of fresh-cut rose apple. *Agriculture and Natural Resources*, 50(5), 331–337. <https://doi.org/10.1016/J.ANRES.2016.12.001>

Muñoz, A., Ramos-Escudero, D., Alvarado-Ortiz, C., & Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 73(3), 142–149. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=pt

Ojasild, E. (2009). *Elaboración De Néctares De Gulupa (Passiflora edulis F. edulis) Y Curuba (Passiflora mollissima)* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional.

Olaya, J., & Restrepo, L. (2012). Estudio Del Contenido De Fenoles Y Actividad Antioxidante De Guayaba En Diferentes Estados De Madurez. *Acta Biológica Colombiana*, 17(3), 611–624. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/19410>

Ossa, V. (2021). *Evaluación del efecto del secado y del tipo de extracción sobre la capacidad antioxidante de extractos de cáscara de gulupa (Passiflora pinnatistipula) y frutos de corozo (Bactris guineensis)* [Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/53269>

Ozdemir, M., Gungor, V., Melikoglu, M., & Aydiner, C. (2024). Solvent selection and effect of extraction conditions on ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from galangal (*Alpinia officinarum*). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 38, 100525. <https://doi.org/10.1016/J.JARMAP.2023.100525>

Pandey, K., & Rizvi, S. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270. <https://doi.org/10.4161/OXIM.2.5.9498>

- Parra, M. (2012). Eventos Cadena Nacional de Pasifloras. In F. Quimbaya (Ed.), *Boletines De Vigilancia Tecnológica* 20 (pp. 14–15). Corporación Cepass. https://issuu.com/cepasscolombia/docs/boletin_20
- Pastrana, E. (2004). Determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la vitis rotundifolia michx. *Ingeniería y Región*, 3, 29–38. <https://doi.org/10.25054/22161325.855>
- Pilar, I., Fische, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims.). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83–95. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652007000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Plamada, D., & Vodnar, D. C. (2022). Polyphenols—Gut Microbiota Interrelationship: A Transition to a New Generation of Prebiotics. *Nutrients*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/NU14010137>
- Quimbaya, F. (2012). Boletines De Vigilancia Tecnológica 21. In 2012. https://issuu.com/cepasscolombia/docs/boletin_21_opt
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27(1), 76–89.
- Restrepo, J., Guzmán, L., Cuestas, M., Bareño, F., Parra, M., Rivera, P., Rodríguez, A., & Aguilar, O. (2012). Acuerdo de competitividad para la cadena productiva de pasifloras en Colombia. *Asohofrucol, CEPASS, Consejo Nacional de Pasifloras, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Bogotá*.
- Simirgiotis, M., Schmeda-Hirschmann, G., Bórquez, J., & Kennelly, E. (2013). The *Passiflora tripartita* (Banana Passion) Fruit: A Source of Bioactive Flavonoid C-Glycosides Isolated by HSCCC and Characterized by HPLC–DAD–ESI/MS/MS. *Molecules*, 18(2), 1672–1692. <https://doi.org/10.3390/molecules18021672>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in Enzymology* (Vol. 299, pp. 152–178). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Soria, A. C., & Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7), 323–331. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2010.04.003>

- Soto, J., Charry, S., & Amorocho, C. (2021). Evaluación del comportamiento del color del vino artesanal de curuba "Son del Alba." *Ingeniería y Región*, 26, 4–19. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/238/2382460001/index.html>
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M. (2016). Efecto del solvente y de la relación masa/solvente, sobre la extracción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de extractos de corteza de *Pinus durangensis* y *Quercus sideroxyla*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 18(4), 701–714. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000061>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology* (3rd ed.). Sinauer Associates.
- Téllez, C., Fischer, G., & Quintero, O. (2007). Comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) encerados y almacenados a dos temperaturas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(1), 67–80.
- Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239, 23–33. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTEC.2016.10.001>
- Universidad Nacional de Colombia. (n.d.). *Passiflora*, Tratamiento Taxonómico. Retrieved January 17, 2023, from <http://www.biovirtual.unal.edu.co/floradecolombia/es/description/1158/>
- Urrea, D., Eim, V., LastNameRoselló, C., & Simal, S. (2012). Modelos cinéticos de degradación de carotenoides, polifenoles y actividad antioxidante durante el secado convectivo de zanahoria (*Daucus carota* V. Nantesa). *Alimentos Hoy*, 21(27), 68–101.
- Valenzuela, C., & Pérez, P. (2016). Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(2), 188–195. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200012>
- Valeria, M. (2022). *Evaluación del efecto de los parámetros de secado por atomización sobre la actividad antioxidante del babaco Carica pentagona H.* [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica del Norte.
- Vargas, M. (2018, October 17). A cultivar frutas de calidad desde el laboratorio. *Revista Pesquisa Javeriana*. <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/a-cultivar-frutas-de-calidad-desde-el-laboratorio/>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>
- Wong-Paz, J., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., & Muñiz-Márquez, D. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos

bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23(0).
<https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2020.0.255>

Zapata, S., Piedrahita, A., & Rojano, B. (2014). Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. *Perspectivas En Nutrición Humana*, 16(1), 25–36.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-41082014000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es

7. ANEXO

Anexo 1. Compuestos fenólicos identificados en la cáscara y pulpa del fruto de curuba

Número pico	Identificación compuesta	parte de la fruta
1	(6- C - α -L-arabinopiranosil)-7- O -glucosil-8- C - β - D -glucopiranosido (7- O -glucosil-isoschaftósido)	P, J
2	Oligosacárido feruloilado	P, J
3	Luteolina-(7- O -glucopiranosil)-8- C -glucopiranosido (Orientin-7- O -glucósido)	P
4	Derivado de luteolina-di-glucósido	P
5	Luteolin-6,8-di- C - β - D -glucopiranosido (Leucenina II) *	P
6	Derivado de vicenina II	P
7	5'-metoxi-desmetilpiperitol-4- O -glucósido	P, J
8	Isómero luteolina-(6- C -pentosil)-8- C - β - D -glucopiranosido	P, J
9	(6- C - α -L-arabinopiranosil)-8- C - β - D -glucopiranosido (Isoschaftósido) *	P
10	4'-metoxiluteolina -6,8-di- C - β - D -glucopiranosido (leucenina II, 4'-metil éter)	P
11	Apigenina (6- C - β - D -glucopiranosil) 8- C - α -L-arabinósido (Schaftoside)	P, J
12	Derivado de luteolina-5- O -glucosil-8- C - (6"acetil)- β - D - glucopiranosido	P
13	Apigenina-6,8-di- C - β - D -glucopiranosido (Vicenina II) *	P, J
14	Isómero vicenina II	P, J
15	Flavonoide diglucosilo desconocido	P, J
16	Apigenina-8- C - β - D -glucopiranosido (Vitexin) *	P
17	Eriodictyol 6,8 di- C -glucósido	P
18	Luteolin-7- O -glucopiranosil 8- C -(6"acetil)-glucopiranosido	P, J
19	Luteolina-8- C - β - D -glucopiranosido (Orientin) *	P, J
20	Apigenina-5- O - β - D -glucopiranosilo, 8- C -(6"acetil)- β - D - glucopiranosilo- lado	P, J
21	4'-metoxiluteolin-8- C - β - D -glucopiranosido	P, J
22	Miricetina *	P
23	Miricetina-3- O - (6"-galloil) glucósido	P
24	Luteolina-8- C -(6"acetil)- β - D -glucopiranosido	P, J
25	Derivado de miricetina-3- O- (6" galloil) glucósido	P
26	Miricetina 3' metil éter	P
27	Apigenina-8- C -(6"acetil)- β - D -glucopiranosido	P
28	Derivado C -glicosilo desconocido	P
29	Derivado C -glicosilo desconocido	P, J
30	Derivado C -glicosilo desconocido	P
31	4'- Metoxiluteolin-8- C -(6"acetil)- β - D -glucopiranosido *	P, J

Nota. P: cáscara, J: pulpa y jugo. Adaptado de Passiflora tripartita (Banana Passion) Fruit: A Source of Bioactive Flavonoid C-Glycosides Isolated by HSCC and Characterized by HPLC–DAD–ESI/MS/MS, Simirgiotis, M., et al., E. 2013, Molecules, 18(2).

Anexo 2. Compuestos fenólicos identificados en la semilla del fruto de curuba

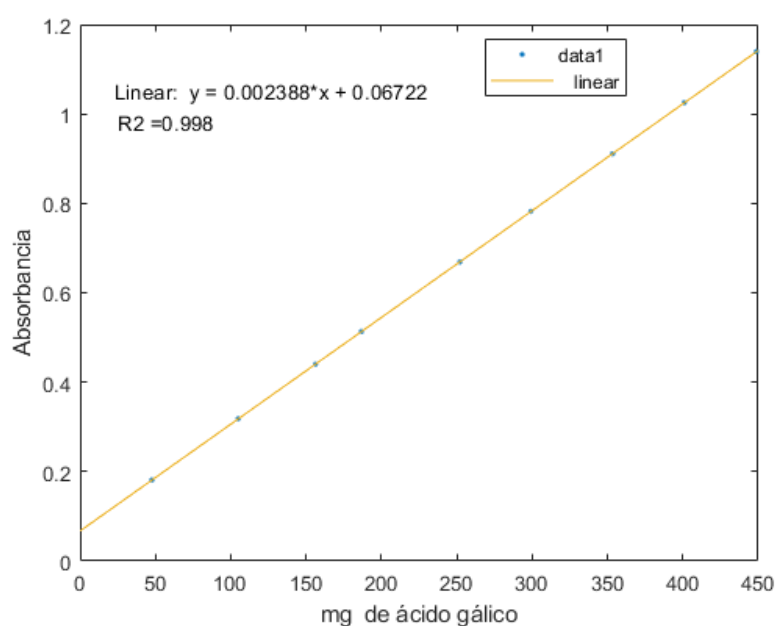
Número pico	Familia	Identificación tentativa
1	ácido fenólico	Ácido gálico *
2	Derivado del ácido fenólico	Glucósido del ácido protocatequiico
3	ácido fenólico	Ácido dihidroxibenzoico
4	ácido fenólico	Ácido hidroximetoxibenzoico (isómero del ácido vainílico)
5	flavonoide	(Epi)galocatequina
6	Derivado del ácido fenólico	Glucósido de ácido vainílico
7	PAC tipo B	(Epi)galocatequina-(epi)catequina
8	Derivado del ácido fenólico	Rutinósido de ácido salicílico/ácido lucumínico
9	ácido fenólico	Ácido 3,4-dihidroxibenzoico (Protocatequiico)
10	flavonoide	Gallocatequina/epicocatequina
11	ácido fenólico	Isómero del ácido sinápico
12	PAC tipo B	(Epi)galocatequina-(epi)catequina
13	ácido fenólico	Ácido hidroxibenzoico (ácido salicílico)
14	flavonoide	Tetrahidroxi(iso)flavanona
15	ácido fenólico	Ácido 4-hidroxibenzoico
16	flavonoide	(Epi)galocatequina
17	PAC tipo B	(Epi)galocatequina-(epi)catequina
18	PAC tipo A	(Epi)catequina-(epi)catequina
19	flavonoide	Catequina *
20	PAC tipo A	(Epi)catequina-(epi)catequina
21	PAC tipo B	(Epi)catequina-(epi)catequina
22	ácido fenólico	Ácido vainílico *
23	ácido fenólico	Ácido cafeico *
24	PAC tipo B	Isómero trihidroxi(iso)flavanol-(epi)catequina
25	PAC tipo B	(Epi)catequina-(epi)catequina
26	PAC tipo B	Isómero trihidroxi(iso)flavanol-(epi)catequina
27	PAC tipo B	Isómero trihidroxi(iso)flavanol-(epi)catequina
28	flavonoide	(Epi)fisetinidol
29	ácido fenólico	Isómero del ácido siríngico
30	ácido fenólico	ácido hidroxibenzoico
31	flavonoide	Tetrahidroxi(iso)flavanona
32	PAC tipo B	Isómero trihidroxi(iso)flavanol-(epi)catequina
33	flavonoide	Tetrahidroxi(iso)flavanona
34	flavonoide	(Epi)fisetinidol
35	PAC tipo B	(Epi)fisetinidol-(Epi)fisetinidol-(epi)catequina
36	PAC tipo B	Isómero trihidroxi(iso)flavanol-(epi)catequina
37	PAC tipo B	Trihidroxi(iso)flavanol-O-metil(epi)catequina
38	flavonoide	O-metil-epicatequina

39	PAC tipo B	Trihidroxi(iso)flavanol-O-metil(epi)catequina
40	PAC tipo B	Isómero de dihidroxiflavanol-(epi)catequina
41	PAC tipo B	(Epi)fisetinidol-(Epi)fisetinidol-(epi)catequina
42	PAC tipo B	Isómero de dihidroxiflavanol-(epi)catequina
43	flavonoide	Trihidroxi(iso)flavanol
44	flavonoide	4',7-Di-O-metilcatequina
45	flavonoide	Trihidroxiflavanona
46	flavonoide	diosmetina
47	PAC tipo B	Trihidroxi(iso)flavanol-O-metil(epi)catequina
48	flavonoide	Trihidroxi(iso)flavanol
49	PAC tipo A	Isómero trihidroxi(iso)flavanol-(epi)catequina
50	flavonoide	Dihidroximetoxiflavanona
51	flavonoide	Apigenina/genisteína
52	flavonoide	Dihidromoreloflavona
53	estilbenoide	Hidroxiangolensina
54	flavonoide	Dihidromoreloflavona
55	flavonoide	Quercetina *
56	flavonoide	Dímero de trihidroxiflavanona
57	flavonoide	isorhamnetina
58	flavonoide	Hidroximetoxiflavanona
59	flavonoide	Dihidromoreloflavona
60	flavonoide	Trihidroxiflavanona
61	flavonoide	Glucósido de dihidroximetoxiflavanona

Nota. Adaptado de Integrated strategy for the extraction and profiling of bioactive metabolites from *Passiflora mollissima* seeds combining pressurized-liquid extraction and gas/liquid chromatography–high resolution mass spectrometry, Ballesteros-Vivas, et al., 2019, Journal of Chromatography A, 1595, 144–157.

Anexo 3. Curva de calibración para la cuantificación de Polifenoles Totales

Dilución	Concentración de ácido gálico (ppm)	mg de ácido gálico	Absorbancia	
1	50	48,71	0,184	0,181
		45,69	0,176	
		48,50	0,183	
2	100	105,51	0,319	0,318
		106,80	0,322	
		102,32	0,312	
3	150	157,95	0,445	0,441
		154,89	0,437	
		155,90	0,44	
4	200	183,46	0,505	0,513
		191,17	0,524	
		185,51	0,51	
5	250	243,40	0,649	0,670
		247,25	0,658	
		265,64	0,702	
6	300	304,22	0,794	0,782
		295,51	0,773	
		297,77	0,778	
7	350	359,43	0,925	0,911
		353,98	0,913	
		346,99	0,896	
8	400	399,47	1,021	1,025
		401,06	1,025	
		402,40	1,028	
9	450	445,67	1,131	1,139
		455,18	1,154	
		445,63	1,131	



Anexo 4. Código empleado en MATLAB® para el planteamiento del diseño experimental Central Compuesto inscrito combinado con Diseño Central Compuesto orientado a las caras

```
DCC1 = ccdesign(2,'type','inscribed','center',1);% DISEÑO EXPERIMENTAL
INSCRITO CENTRAL
DCC2 = ccdesign(2,'type','faced','center',1);% DISEÑO CENTRAL COMPUESTO
ORIENTADO A LAS CARAS
DCC = unique([DCC1; DCC2], 'rows')% GENERA UN SOLO DCC COMBINADO

[Y,PS] = mapminmax([30 70],-1,1) %mapminmax decodifica la matriz mapeando las
filas con los valores mínimos y máximos de -1 a 1
%30-70 son los intervalos de temperatura a usar
%Tiempo
[YTEMP,PSTEMP] = mapminmax([5 45],-1,1);%5 45 los intervalos de tiempo
t=mapminmax('reverse',DCC(:,2),PSTEMP);%Decodificar niveles tiempo

%Temperatura
[Yt,PSt] = mapminmax('reverse',[0],PS);
TEMP = mapminmax('reverse',DCC(:,1),PSt);% decodificar niveles temperatura

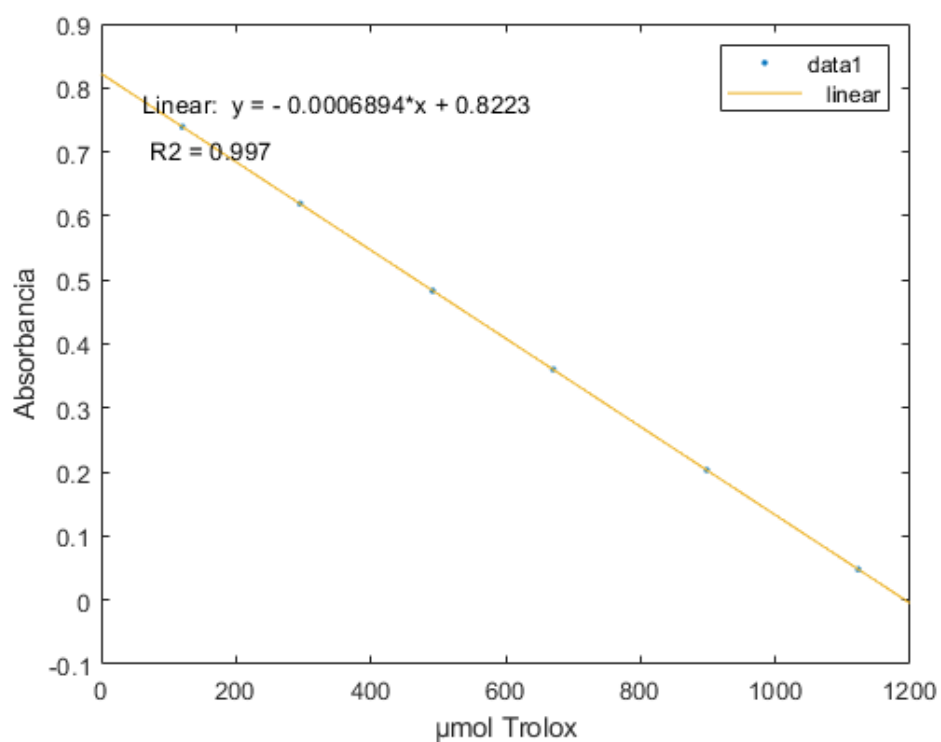
DCC = table(TEMP, t)

plot(TEMP,t,'ro','MarkerFaceColor','b')

X = [70 30 30 30; 70 70 70 30];
Y = [5 5 45 5; 45 5 45 45];
line(X,Y,'Color','b')
axis square equal
xlim([28 72])
ylim([3 47])
```

Anexo 5. Curva de calibración para la cuantificación de actividad antioxidante

Dilución	Concentración de Trolox (μmol)	μmol Trolox	Absorbancia	
1	100	109,146	0,747	0,739
		107,986	0,748	
		144,533	0,723	
2	300	363,379	0,572	0,619
		261,860	0,642	
		261,280	0,643	
3	500	524,650	0,461	0,483
		471,860	0,497	
		478,966	0,492	
4	700	664,312	0,365	0,360
		645,313	0,378	
		702,454	0,338	
5	900	857,779	0,231	0,203
		920,140	0,188	
		917,095	0,190	
6	1100	1128,400	0,045	0,048
		1127,530	0,045	
		1113,317	0,055	

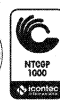


Anexo 6. Certificado de identificación de la especie de curuba perteneciente a la variedad *Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth)



UNIVERSIDAD
SURCOLOMBIANA

NIT: 891180084-2



**LA SUSCRITA COORDINADORA DEL HERBARIO DE LA
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, SURCO**

CERTIFICA QUE:

Fueron ingresados a la Colección Biológica del Herbario de la Universidad Surcolombiana, SURCO, 2 ejemplares botánicos, 2 duplicados y 1 frasco de antoteca, correspondientes al proyecto "Obtención de Polifenoles totales del fruto de la Curuba mediante extracción asistida por ultrasonidos". Dichos ejemplares fueron montados y etiquetados por el estudiante Manuel Felipe Garzón González en el herbario, con el apoyo de Floralba Tacumá e identificados como *Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) Holm-Niels. & P. Jørg., por la docente Hilda del Carmen Dueñas, especie y variedad confirmada por el especialista en la familia.

Dado en Neiva, a los 19 días del mes de mayo de 2023

HILDA DEL CARMEN DUEÑAS GÓMEZ
Coordinadora Herbario SURCO

Gestión, Participación y Resultados

Sede Central - AV. Pastrana Borrero Cra. 1a.
PBX: (57) (8) 875 4753 FAX: (8) 875 8890 - (8) 875 9124
Edificio Administrativo - Cra. 5 No. 23-40
PBX: (57) (8) 8753686 - Línea Gratuita Nacional: 018000 968722
Vigilada Mineducación
www.usco.edu.co
Neiva, Huila

Anexo 7. Características morfológicas y fisicoquímicas del fruto de curuba en estado de madurez verde, pintón y maduro

N	Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom
		FRUTO EN ESTADO DE MADUREZ VERDE										
1	Peso Fruto (g)	93,62	110,76	130,86	105,53	128,14	116,32	107,8	105,67	117,66	94,00	111,04
2	Longitud Fruto (mm)	107,47	112,22	117,16	111,47	124,63	116,95	110,43	111,8	104,21	102,59	111,89
3	Diámetro del fruto (mm)	41,12	43,27	44,17	40,44	45,53	43,47	42,25	42,33	41,53	39,58	42,37
4	Relación largo/ancho	2,61	2,59	2,65	2,76	2,74	2,69	2,61	2,64	2,51	2,59	2,64
5	Peso Cáscara (g)	37,68	44,15	40,80	44,81	54,29	52,51	38,55	48,24	38,28	35,88	43,52
6	% cáscara	40,25%	39,86%	31,18%	42,46%	42,37%	45,14%	35,76%	45,65%	32,53%	38,17%	39,34%
7	Grosor cáscara (mm)	3,27	4,09	5,16	3,45	4,33	4,45	4,14	5,47	2,99	3,31	4,07
8	Peso pulpa (g)	43,33	52,94	77,24	35,81	62,96	50,73	55,97	42,53	66,31	31,91	51,97
9	% pulpa	46,28%	47,80%	59,02%	33,93%	49,13%	43,61%	51,92%	40,25%	56,36%	33,95%	46,23%
10	Peso semilla (g)	12,61	13,67	12,82	24,91	10,89	13,08	13,28	14,90	13,07	26,21	15,54
11	% semilla	13,47%	12,34%	9,80%	23,60%	8,50%	11,24%	12,32%	14,10%	11,11%	27,88%	14,44%
12	Acidez titulable pulpa	12,84	12,89	13,18	13,52	11,63	12,07	11,67	12,23	14,21	12,6	12,68
		1,16	1,16	1,19	1,22	1,05	1,09	1,05	1,10	1,28	1,13	1,14
13	° Brix pulpa	10,3	10,9	9,3	10,3	10,6	9,8	10,2	8,7	10,1	9,3	9,95
14	índice de madurez (°Brix/% acidez titulable)	8,91	9,40	7,84	8,46	10,13	9,02	9,71	7,90	7,90	8,20	8,75
15	pH pulpa	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3	3,2	3,2	3,7	3,3	3,4	3,32
16	Humedad semilla	55,32%	48,70%	53,96%	50,98%	59,76%	55,60%	53,90%	59,64%	50,71%	47,83%	54%

N	Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom
		FRUTO EN ESTADO DE MADUREZ PINTÓN										
1	Peso Fruto (g)	100,04	103,55	107,19	108,69	144,91	101,8	109,87	164,79	129,3	137,8	120,794
2	Longitud Fruto (mm)	96,12	107,49	106,04	113,76	120,87	106,61	111,27	120,73	118,60	114,13	111,562
3	Diámetro del fruto (mm)	43,09	42,61	41,42	43,25	45,63	38,38	39,75	46,77	42,95	44,18	42,803
4	Relación largo/ancho	2,23	2,52	2,56	2,63	2,65	2,78	2,80	2,58	2,76	2,58	2,61
5	Peso Cáscara (g)	50,93	39,29	33,42	49,11	57,66	35,97	39,83	60,74	48,23	45,21	42,18
6	% cáscara	50,91%	37,94%	31,18 %	45,18 %	39,79 %	35,33 %	36,25%	36,86%	37,30%	32,81 %	36,16%
7	Grosor cáscara (mm)	3,87	3,99	2,75	4,56	3,87	3,13	3,07	4,03	2,99	3,62	3,374
8	Peso pulpa (g)	42,2	52,82	63,37	51,12	77,05	57,48	58,65	90,78	68,96	80,15	70,787
9	% pulpa	42,18%	51,01%	59,12 %	47,03 %	53,17 %	56,46 %	53,38%	55,09%	53,33%	58,16 %	54,97%
10	Peso semilla (g)	6,91	11,44	10,40	8,46	10,20	8,35	11,39	13,27	12,11	12,44	12,038
11	% semilla	6,91%	11,05%	9,70%	7,78%	7,04%	8,20%	10,37%	8,05%	9,37%	9,03%	8,75%
12	Acidez titulable pulpa	9,54	11,59	9,67	9,37	7,83	9,92	10,81	10,30	10,29	9,32	9,864
		0,86	1,04	0,87	0,84	0,70	0,89	0,97	0,93	0,93	0,84	0,89
13	° Brix pulpa	10,9	10,9	10,6	10,8	10,8	9,6	10,6	10,5	10,8	10,2	10,57
14	índice de madurez (°Brix/% acidez titulable)	12,70	10,45	12,18	12,81	15,33	10,75	10,90	11,33	11,66	12,16	12,03
15	pH pulpa	3,5	3,3	3,4	3,5	3,4	3,3	3,5	3,5	3,4	3,4	3,42
16	Humedad semilla	45,91%	44,66%	48,59 %	40,05 %	45,35 %	50,19 %	50,81%	46,43%	46,50%	45,03 %	46,35%

N	Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom
		FRUTO EN ESTADO DE MADUREZ MADURO										
1	Peso Fruto (g)	93,39	131,51	119,88	155,09	112,83	99,72	135,12	104,71	181,00	116,84	125,01
2	Longitud Fruto (mm)	98,84	110,03	111,26	114,04	111,04	111,92	112,41	116,04	129,22	101,01	111,58
3	Diámetro del fruto (mm)	36,78	44,49	43,96	45,56	42,48	40,70	43,57	42,80	50,47	41,82	43,26
4	Relación largo/ancho	2,69	2,47	2,53	2,50	2,61	2,75	2,58	2,71	2,56	2,42	2,58
5	Peso Cáscara (g)	33,53	41,30	39,65	48,49	44,73	58,98	44,70	41,23	39,36	29,87	42,18
6	% cáscara	33,52%	39,88%	36,99 %	44,61 %	30,87 %	57,94 %	40,68 %	25,02 %	30,44%	21,68 %	36,16%
7	Grosor cáscara (mm)	3,20	3,08	4,29	3,13	3,61	3,11	3,85	3,55	4,06	1,86	3,37
8	Peso pulpa (g)	50,09	75,65	69,31	92,68	58,47	22,29	77,86	54,1	131,81	75,61	70,79
9	% pulpa	53,64%	57,52%	57,82 %	59,76 %	51,82 %	22,35 %	57,62 %	51,67 %	72,82%	64,71 %	54,97%
10	Peso semilla (g)	9,77	14,56	10,92	13,92	9,63	18,45	12,56	9,38	9,83	11,36	12,04
11	% semilla	10,46%	11,07%	9,11%	8,98%	8,53%	18,50 %	9,30%	8,96%	5,43%	9,72%	10,01%
12	Acidez titulable pulpa	6,47	6,03	8,20	7,67	8,43	9,84	9,50	7,90	10,50	8,02	8,26
		0,58	0,54	0,74	0,69	0,76	0,89	0,86	0,71	0,95	0,72	0,74
13	° Brix pulpa	9,4	10,3	10,4	11,0	10,6	10,0	9,4	11,6	10,0	10,0	10,27
14	índice de madurez (°Brix/% acidez titulable)	16,14	18,98	14,09	15,94	13,97	11,29	10,99	16,32	10,58	13,85	14,22
15	pH pulpa	3,9	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,3	3,4	3,6	3,45
16	Humedad semilla	53,12%	53,58%	47,38 %	47,60 %	50,20 %	54,00 %	50,49 %	50,53 %	44,81%	47,31 %	49,90%

Anexo 8. Ficha técnica del Alcohol Etilico Rectificado Extra Neutro

Producto:	Alcohol Etilico Rectificado Extra Neutro 96%			F. Fabricación:	07/09/2021
Lote No.	1B000367896	Guía No.	N/A	F. Vencimiento:	07/08/2025
Descripción		Requisitos		Resultados	
Color		Transparente e Incoloro		Transparente e Incoloro	
Olor		Organoléptica		Característico del alcohol	
Sabor		No Extraño		No Extraño	

Descripción	Método	Unidad	Mínimo	Máximo	Resultado
Límite de Residuo No volátil	USP	mg	-	-	1,8 mg
Peso Específico (20°C)	USP	°C	-	0,8087	0,80
Peso Específico	USP	%	92,3	93,8	92,4%
Peso Específico en Volumen de C ₂ H ₅ OH	USP	%	94,9	96,0	94,9%
Absorción en el UV 240 nm	USP	nm	No más de 0,4	240 nm	0,3236
Absorción en el UV 250 y 260 nm	USP	nm	No más de 0,3	Entre 250 y 260 nm	0,2211
Absorción en el UV 270 Y 340	USP	nm	No más de 0,1	Entre 270 y 340 nm	0,0293
Acidez o Alcalinidad	USP	µL/L	-	-	30 µL/L
Transparencia de la Solución	USP actual	-	-	-	Pasa prueba
Solubilidad	USP actual	-	-	-	Pasa prueba
Identificación A y B	USP actual	-	-	-	Pasa prueba
Disolventes Residuales	USP actual			-	Cumple Clase 1, Clase 2A y 2B
Impurezas Elementales	USP actual	-	-	Máx. 0,5 µg/g Cadmio	No detectable
Concentración Oral (ICP-OES)	USP actual	-	-	Máx. 0,5 µg/g Plomo	No detectable
Concentración Oral (ICP-OES)	USP actual	-	-	Máx. 1,5 µg/g Arsénico	Detectable, No cuantificable
Concentración Oral (ICP-OES)	USP actual	-	-	Máx. 3,0 µg/g Mercurio	No Detectable

(*) Las pruebas periódicas realizadas en el material base utilizado para producir este lote cumplen con las certificaciones USP y EP para alcohol etílico.

Este COA ha sido generado y lanzado desde un sistema de gestión de documentos electrónico controlado.
Este documento es una transcripción de los datos informados en el certificado de calidad que nos entrega nuestro proveedor.

Transcrito por: Lorena Hernández
Coordinador de Calidad

Revisado por: Lady Salgado
Coordinador Logístico

Anexo 9. Resultados y cálculos de TPC mediante espectrofotometría UV-vis a longitud de onda de 760 nm para el diseño factorial 3²

Muestra		peso (g)	Absorbancia	mg GAE/L	mg GAE/ml	mg GAE/100 g b.s.	Pro.	SV	CV
VC	A1	0,00013	0,334	111,914	0,112	4300,24	4103,28	196,69	4,79
	B1	0,00013	0,304	99,234	0,099	3906,87			
	C1	0,00013	0,318	105,337	0,105	4102,73			
VS	A2	0,00013	0,385	133,402	0,133	5221,22	5135,57	190,21	3,70
	B2	0,00013	0,389	134,727	0,135	5267,90			
	C2	0,00013	0,366	125,276	0,125	4917,60			
VP	A3	0,00305	0,793	303,968	0,304	499,13	500,53	12,19	2,44
	B3	0,00286	0,767	293,129	0,293	513,36			
	C3	0,00265	0,685	258,981	0,259	489,10			
PC	A4	0,00013	0,337	113,254	0,113	4494,22	4302,94	177,29	4,12
	B4	0,00013	0,327	108,898	0,109	4270,51			
	C4	0,00013	0,320	105,882	0,106	4144,11			
PS	A5	0,00013	0,431	152,545	0,153	5889,76	5918,89	112,35	1,90
	B5	0,00013	0,430	152,131	0,152	6042,94			
	C5	0,00013	0,417	146,764	0,147	5823,98			
PP	A6	0,00301	0,954	371,449	0,371	617,54	626,79	23,78	3,79
	B6	0,00288	0,904	350,799	0,351	609,03			
	C6	0,00274	0,921	357,961	0,358	653,81			
MC	A7	0,00013	0,307	100,353	0,100	3962,60	3807,11	134,67	3,54
	B7	0,00013	0,299	97,211	0,097	3728,14			
	C7	0,00013	0,290	93,358	0,093	3730,58			
MS	A8	0,00013	0,371	127,454	0,127	5087,99	5239,92	132,37	2,53
	B8	0,00013	0,385	133,067	0,133	5301,48			
	C8	0,00013	0,388	134,324	0,134	5330,30			
MP	A9	0,00259	0,825	317,373	0,317	612,69	598,56	12,91	2,16
	B9	0,00273	0,843	325,205	0,325	595,61			
	C9	0,00279	0,849	327,467	0,327	587,39			

Nota. La primera letra corresponde al estado de madurez fisiológica y la segunda a la parte del fruto. M maduro, P pintón, V verde; C cáscara, S semillas, P pulpa.

Dado que las muestras de pulpa fueron cuantificadas en base húmeda, se realizaron los cálculos para igualar las unidades en base seca. Se determinó la humedad de las pulpas mediante el método infrarrojo, obteniendo una humedad promedio del 92%. Para determinar el contenido teórico de TPC en base seca, se planteó un balance de materia general.

$$F_1 = F_2 + A \quad (12)$$

Donde:

F_1 = 100 g de pulpa en base húmeda

F_2 = pulpa en base seca

A = agua retirada

Considerando que la humedad de las pulpas en sus distintos estados de maduración en base húmeda es del 92% (h_1) y que la muestra de pulpa en base seca llegase alcanzar una humedad del 7% (h_2).

$$F_1 h_1 = F_2 h_2 + A$$

Se procede a remplazar la formula y despejar el agua (A).

$$\begin{aligned} 100 \text{ g} * 0,92 &= F_2 * 0,07 + A \\ 92 - F_2 * 0,07 &= A \end{aligned}$$

A partir de la fórmula despejada y se reemplaza el agua (A) y los valores en la fórmula general.

$$\begin{aligned} 100 \text{ g} &= F_2 + 92 - F_2 * 0,07 \\ 100 - 92 &= F_2 - F_2 * 0,07 \\ 8 &= F_2 * 0,93 \\ \frac{8}{0,93} &= F_2 \\ 8,602 &= F_2 \end{aligned}$$

Considerando que no hay pérdidas de fenoles, se plantea un balance específico de TPC.

$$F_1 C_1 = F_2 C_2$$

Donde:

C_1 = polifenoles totales en base humedad

C_2 = polifenoles totales en base seca

Calculando el porcentaje de concentración de TPC en base humedad

$$\begin{aligned} 100 \text{ g pulpa base humedad} &\Rightarrow 100\% \\ 0,49913 \text{ g GAE}/100 \text{ g b.s.} &\Rightarrow x \end{aligned}$$

$$x = \frac{0,49913 \text{ g} * 100\%}{100 \text{ g}}$$

$$x = 4,9913 * 10^{-3}$$

Reemplazando y resolviendo el balance específico de TPC para determinar el porcentaje de concentración en muestra seca.

$$100 * 4,9913 * 10^{-3} = 8,602 * C_2$$

$$\frac{100 * 4,9913 * 10^{-3}}{8,602} = C_2$$

$$0,05802 = C_2$$

Verificando.

$$F_1 C_1 = F_2 C_2$$

$$100 * 4,9913 * 10^{-3} = 8,602 * 0,05802$$

$$0,4991 \text{ g} = 0,4991 \text{ g}$$

Considerando el porcentaje de polifenoles totales de la pulpa de muestra seca tenemos.

$$100 \text{ g pulpa seca} * 0,05802 = 5,802 \text{ g GAE} / 100 \text{ g b. s.}$$

Se procedió a realizar los distintos cálculos para todas las pulpas teniendo cuenta que el porcentaje humedad es el mismo para todas.

Anexo 10. Resultados y cálculos de TPC mediante espectrofotometría UV-vis a longitud de onda de 760 nm para el Diseño Central Compuesto

Tratamiento	peso (g)	Absorbancia	mg GAE/L	mg GAE/ml	mg GAE/100 g b.s.	Pro.	sv	cv
T1	0,000250	1,420	566,820	0,567	11336,406	11897,78	490,21	4,12
	0,000250	1,528	612,065	0,612	12241,307			
	0,000250	1,513	605,781	0,606	12115,626			
T2	0,000251	1,501	600,754	0,601	11967,213	12184,19	519,22	4,26
	0,000251	1,598	641,391	0,641	12776,711			
	0,000251	1,482	592,794	0,593	11808,651			
T3	0,000253	1,561	625,890	0,626	12369,372	12788,86	365,64	2,86
	0,000253	1,632	655,635	0,656	12957,207			
	0,000253	1,642	659,824	0,660	13040,001			
T4	0,000250	1,383	551,180	0,551	11023,600	11313,131	253,56	2,24
	0,000250	1,439	574,780	0,575	11495,601			
	0,000250	1,430	571,010	0,571	11420,193			
T5	0,000250	1,397	557,185	0,557	11143,695	11420,193	264,83	2,32
	0,000250	1,433	572,266	0,572	11445,329			
	0,000250	1,460	583,578	0,584	11671,554			
T6	0,000251	1,287	511,102	0,511	10181,311	10612,487	373,99	3,52
	0,000251	1,367	544,617	0,545	10848,938			
	0,000251	1,362	542,522	0,543	10807,211			
T7	0,000251	1,316	523,251	0,523	10423,326	10798,87	519,22	4,81
	0,000251	1,335	531,211	0,531	10581,887			
	0,000251	1,432	571,848	0,572	11391,385			
T8	0,000252	1,304	518,224	0,518	10282,217	10719,99	488,19	4,55
	0,000252	1,346	535,819	0,536	10631,330			
	0,000252	1,420	566,820	0,567	11246,434			
T9	0,000251	1,526	611,227	0,611	12175,846	12701,60	462,17	3,64
	0,000251	1,630	654,797	0,655	13043,761			
	0,000251	1,611	646,837	0,647	12885,200			
T10	0,000250	1,665	669,460	0,669	13389,191	13503,70	243,18	1,80
	0,000250	1,659	666,946	0,667	13338,919			
	0,000250	1,712	689,150	0,689	13782,991			
T11	0,000251	1,605	644,323	0,644	12835,128	12957,53	318,58	2,46
	0,000251	1,663	668,622	0,669	13319,157			
	0,000251	1,591	638,458	0,638	12718,293			
T12	0,000250	1,807	728,948	0,729	14578,969	15193,41	565,94	3,72
	0,000250	1,894	765,396	0,765	15307,918			
	0,000250	1,940	784,667	0,785	15693,339			
T13	0,000251	1,787	720,570	0,721	14353,979	14838,01	424,47	2,86
	0,000251	1,882	760,369	0,760	15146,786			
	0,000251	1,866	753,666	0,754	15013,261			

Anexo 11. Resultados y cálculos de DPPH mediante espectrofotometría UV-vis a longitud de onda de 515 nm para el Diseño Central Compuesto

Tratamiento	peso (g)	Absorbancia	mg GAE/L	mg GAE/ml	mg GAE/100 g b.s.	Pro.	sv	cv
T1	0,000250	0,0827	1072,806	1,073	21456,120	21384,58	86,88	0,41
	0,000250	0,0885	1064,395	1,064	21287,900			
	0,000250	0,0843	1070,486	1,070	21409,720			
T2	0,000251	0,0940	1056,418	1,056	21044,183	21391,83	302,89	1,42
	0,000251	0,0748	1084,263	1,084	21598,865			
	0,000251	0,0771	1080,928	1,081	21532,430			
T3	0,000253	0,0996	1048,297	1,048	20717,332	20535,80	169,39	0,82
	0,000253	0,1113	1031,328	1,031	20381,976			
	0,000253	0,1069	1037,709	1,038	20508,083			
T4	0,000250	0,0548	1113,269	1,113	22265,380	22164,83	117,11	0,53
	0,000250	0,0627	1101,812	1,102	22036,240			
	0,000250	0,0573	1109,643	1,110	22192,860			
T5	0,000250	0,0628	1101,667	1,102	22033,340	21931,81	87,94	0,40
	0,000250	0,0680	1094,125	1,094	21882,500			
	0,000250	0,0681	1093,980	1,094	21879,600			
T6	0,000251	0,0618	1103,117	1,103	21974,442	21850,21	139,07	0,64
	0,000251	0,0713	1089,339	1,089	21699,980			
	0,000251	0,0652	1098,186	1,098	21876,215			
T7	0,000251	0,0561	1111,384	1,111	22139,124	22071,71	78,19	0,35
	0,000251	0,0614	1103,697	1,104	21985,996			
	0,000251	0,0578	1108,918	1,109	22090,000			
T8	0,000252	0,0602	1105,437	1,105	21933,274	21798,99	189,51	0,87
	0,000252	0,0724	1087,744	1,088	21582,222			
	0,000252	0,0620	1102,827	1,103	21881,488			
T9	0,000251	0,0605	1105,051	1,105	22012,968	22006,22	94,07	0,43
	0,000251	0,0576	1109,256	1,109	22096,733			
	0,000251	0,0641	1099,830	1,100	21908,964			
T10	0,000250	0,1096	1033,842	1,034	20676,840	20761,92	118,51	0,57
	0,000250	0,1084	1035,582	1,036	20711,640			
	0,000250	0,1020	1044,864	1,045	20897,280			
T11	0,000251	0,0600	1105,776	1,106	22027,410	21986,96	37,89	0,17
	0,000251	0,0616	1103,455	1,103	21981,175			
	0,000251	0,0626	1102,005	1,102	21952,291			
T12	0,000250	0,0793	1077,785	1,078	21555,700	21461,92	81,85	0,38
	0,000250	0,0845	1070,244	1,070	21404,880			
	0,000250	0,0838	1071,259	1,071	21425,180			
T13	0,000251	0,1169	1023,255	1,023	20383,566	20314,23	93,93	0,46
	0,000251	0,1180	1021,660	1,022	20351,793			
	0,000251	0,1230	1014,408	1,014	20207,331			

Anexo 12. Código en MATLAB® para maximizar el contenido de TPC en extractos etanólicos

```
load ('TPC.mat');

FO= @(x) - TPC_1(x);
x0= [30 5];

lb=[30 40];
ub=[70 45];

xopt = fmincon(FO,x0,[],[],[],[],lb,ub)

%-----

[xopt, fopt] = fmincon (FO,x0,[],[],[],[],lb,ub);

tpcmax=-fopt
temopt=xopt(1)
topt=xopt(2)

%-----

tem=linspace(30, 70, 150);
t=linspace(5,45,100);
[temg,tg]=meshgrid(tem, t);
DPPHg=TPC_1(temg,tg);

contourf (temg, tg, DPPHg, 'ShowText', 'on')
xlabel ('Temperatura (°C)')
ylabel ('Tiempo (min)')
title ('TPC model')
colorbar
hold on
plot (temopt, topt, '*k')
text (temopt, topt, ['TPCmax = ' num2str(tpcmax,10)])
```

Anexo 13. Código en MATLAB® para maximizar la actividad antioxidante en extractos etanólicos

```
load ('dpph.mat');

FO= @(x) - dpph_1(x);
x0= [45 40];
x01= [68 40];
lb=[30 5];
ub=[70 45];

xopt = fmincon(FO,x0,[],[],[],[],lb,ub)
xopt1 = fmincon(FO,x01,[],[],[],[],lb,ub)
%-----

[xopt, fopt] = fmincon (FO,x0,[],[],[],[],lb,ub);
[xopt1, fopt1] = fmincon (FO,x01,[],[],[],[],lb,ub);

dpphmax=-fopt
temopt=xopt(1)
topt=xopt(2)

dpphmax1=-fopt1
temopt1=xopt1(1)
topt1=xopt1(2)
%-----

tem=linspace(30, 70, 150);
t=linspace(5,45,100);
[temg,tg]=meshgrid(tem, t);
DPPHg=dpph_1(temg,tg);

contourf (temg, tg, DPPHg, 'ShowText', 'on')
xlabel ('Temperatura (°C)')
ylabel ('Tiempo (min)')
title ('DPPH model')
colorbar
hold on
plot (temopt, topt, '*k')
text (temopt, topt, ['DPPHmax =' num2str(dpphmax,10)])
plot (temopt1, topt1, '*k')
text (temopt1, topt1, ['DPPHmax =' num2str(dpphmax1,10)])
```

Anexo 14. Código en MATLAB® para la optimización multicriterio de los parámetros de secado teniendo en cuenta la deseabilidad global

```
function optimizacion_multicriterio
global datosdata TPC_1 dpvh_1
load ('datosdata.mat');
load ('modelos_TPC_DPPH.mat');

FO1 = @(x) -TPC_1(x(1), x(2));
FO2 = @(x) -dpvh_1(x(1), x(2));
FO3 = @(x) -D(x);

x0=[60 20];

lb=[30, 5];
ub=[70, 45];

[xopt1, fopt1]= fmincon(FO1,x0,[],[],[],[],lb,ub);
[xopt2, fopt2]= fmincon(FO2,x0,[],[],[],[],lb,ub);
[xopt3, fopt3]= fmincon(FO3,x0,[],[],[],[],lb,ub);

TPCmax= -fopt1
temopt1= xopt3(1)
topt1= xopt3(2)

DPPHmax= -fopt2
temopt2= xopt3(1)
topt2= xopt3(2)

Dmax= -fopt3
temopt3= xopt3(1)
topt3= xopt3(2)

tem=linspace(30, 70, 100);
t=linspace(5, 45, 100);
[temg, tg]= meshgrid(tem,t);
TPCg= TPC_1(temg,tg);
DPPHg= dpvh_1(temg,tg);

subplot(1,3,1)
contourf (temg, tg, TPCg, 'ShowText','on')
xlabel ('Temperatura (°C)')
ylabel ('tiempo (min)')
title ('TPC model')
colorbar
hold on
plot (temopt1,topt1,'*k')
text (temopt1,topt1,['TPCmax = ' num2str(TPCmax,4)])

subplot(1,3,2)
contourf (temg, tg, DPPHg, 'ShowText','on')
```

```

xlabel ('Temperatura (°C)')
ylabel ('tiempo (min)')
title ('DPPH model')
colorbar
hold on
plot (temopt2,topt2,'*k')
text (temopt2,topt2,['DPPHmax = ' num2str(DPPHmax,4)])

subplot(1,3,3)
contour (temg, tg, TPCg, 'ShowText','on','LineColor','r',
'DisplayName','TPC')
hold on
contour (temg, tg, DPPHg, 'ShowText','on','LineColor','b',
'DisplayName','DPPH')
xlabel ('Temperatura (°C)')
ylabel ('tiempo (min)')
title ('Deseabilidad global')
hold on
plot (temopt3,topt3,'*k')
text (temopt3,topt3,['Dmax = ' num2str(Dmax,4)])

%-----cerrrar
function deseab= D(x)
global datosdata TPC_1 dpvh_1
load ('datosdata.mat')

tem = x(1);
t = x(2);
TPC = TPC;
Dpvh = DPPH;

d1 = (TPC_1 (tem,t)-min(TPC))/(max(TPC)-min(TPC));
d2 = (dpvh_1 (tem,t)-min(Dpvh))/(max(Dpvh)-min(Dpvh));

%CALCULAR LA DESEABILIDAD GLOBAL A PARTIR DE LAS DOS DESEABILIDADES
%LOCALES. LA DESEABILIDAD GLOBAL ES LA MULTIPLICACIÓN DE AMBOS CRITERIOS
%ELEVADO A LA UN MEDIO.

deseab = (d1.*d2)^(1/2);

```