UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

EVALUACIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL FRUTO SILVESTRE *Chondrodendron tomentosum* OBTENIDOS EN DIFERENTES CONDICIONES DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDO

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Autora: Bach. Disbexy Guisela Huaman Huaman

Asesores: Dr. Ralph Stein Rivera Botonares

Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce

Línea de investigación: Cuantificación y caracterización de biomoléculas

JAÉN – PERÚ

2026

Disbexy Guisela Huaman Huaman

EVALUACIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL FRUTO SILVESTRE Chondro...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3671207553

Fecha de entrega
6 oct 2026, 12:06 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
6 oct 2026, 12:12 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
T_Huaman_Huaman_Disbexy_IIA_2026.pdf

Tamaño del archivo
3.2 MB

75 páginas

17.413 palabras

98.001 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

4% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

4%	Fuentes de Internet
2%	Publicaciones
2%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alerta de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
28 caracteres sospechosos en N.° de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 17 de julio del año 2026, siendo las 11:00 horas, se reunieron de manera **presencial**, los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Juan Dario Ríos Mera
Secretario: M.Sc. Andrea Fioreli Velarde Santoyo
Vocal: Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios, para evaluar la Sustentación del:

( ) Informe de Plan de Trabajo de Investigación
(X) Informe Final de Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "Evaluación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del fruto silvestre Chondrodendron tomentosum obtenidos en diferentes condiciones de extracción, asistida por ultrasonido" presentado por la Bachiller Disbexy Guisela Huaman Huaman, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	(12)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 12:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmado su participación con la suscripción de la presente.

Dr. Juan Dario Ríos Mera
Presidente de Jurado Evaluador

M.Sc. Andrea Fioreli Velarde Santoyo
Secretario de Jurado Evaluador

Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios
Vocal de Jurado Evaluador

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Disbexy Guisela Huaman Huaman, bachiller de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificada con DNI 75696588.

Declaro bajo juramento que:

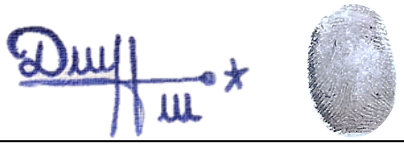
1. Soy Autora del trabajo titulado:

   “**Evaluación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del fruto silvestre *Chondrodendron tomentosum* obtenidos en diferentes condiciones de extracción asistida por ultrasonido**”.
   Asesorado por el DR. Ralph Stein Rivera Botonares y el Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce.
   El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 12 de septiembre del 2026.



Bach. Disbexy Guisela Huaman Huaman

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 8
II. MATERIAL Y MÉTODOS 13
2.1 Lugar de ejecución 13
2.2 Población, muestra y muestreo 13
2.3 Materiales 14
2.4 Métodos, técnicas, procedimientos y técnicas de recolección de datos: 14
III. RESULTADOS 31
3.1 Caracterización biométrica, fisicoquímica y proximal del fruto de *Chondrodendron tomentosum* 31
3.2 Extracción y cuantificación de compuestos antocianicos, fenólicos y capacidad antioxidante 32
3.3 Optimización de compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante 33
3.4 Evaluación del contenido de antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante durante la maduración 39
IV. DISCUSIÓN 41
4.1 Caracterización biométrica, fisicoquímica y proximal del fruto de *Chondrodendron tomentosum* 41
4.2 Optimización de compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante mediante extracción asistida por ultrasonido 43
4.3 Evaluación del contenido de antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante durante la maduración 45
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 48
5.1 Conclusiones 48
5.2 Recomendaciones 49
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50
AGRADECIMIENTO 59
DEDICATORIA 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones para la curva de calibrado a parir de ácido gálico..... 24

Tabla 2. Disoluciones de la muestra antes de evaluar los compuestos fenólicos..... 25

Tabla 3. Concentraciones para la curva de calibrado a partir de trolox 26

Tabla 4. Factores y niveles para el diseño Box-Behnken..... 28

Tabla 5. Diseño experimental de Box-Behnken para evaluar las tres variables independientes (A: Metanol %, B: Amplitud % y C: Tiempo min)..... 28

Tabla 6. Características biométricas y fisicoquímicas en frutos de *C. tomentosum* en tres estados de madurez..... 31

Tabla 7. Características proximales del fruto de *C. tomentosum* en estado maduro 32

Tabla 8. Condiciones de diseño experimental y variables de respuesta para la extracción de compuestos funcionales de frutos de *C. tomentosum* en estado maduro..... 32

Tabla 9. Coeficientes de regresión estimados (β) y valores P para los modelos cuadráticos ajustados para la extracción de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante 33

Tabla 10. Validación del modelo con condiciones óptimas de metanol (57%), amplitud (70%) y tiempo (15 min) de la extracción asistida por ultrasonidos (EAU) 39

Tabla 11. Antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante obtenidos bajo condiciones óptimas de EAU (metanol:57%, amplitud: 70% y tiempo: 15 min) durante la maduración de *C. tomentosum*..... 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación georreferenciada del área de colecta de *C. tomentosum* en Villa Rica, San José de Lourdes, San Ignacio, Cajamarca, Perú (Zona 17S, WGS 84). 15

Figura 2. Frutos de *C. tomentosum* en diferentes etapas de madurez..... 16

Figura 3. Flujograma para el acondicionamiento de la materia prima..... 17

Figura 4. Flujograma para la obtención del extracto concentrado mediante EAU 22

Figura 5. Esquema metodológico del diseño experimental para la caracterización y optimización de compuestos bioactivos en *Chondrodendron tomentosum*..... 29

Figura 6. Superficie de respuesta del efecto de metanol (A) y amplitud ultrasónica (B) sobre el contenido de antocianinas en frutos de *C. tomentosum* (tiempo = 15 min)..... 35

Figura 7. Superficie de respuesta del efecto de (A) metanol y (B) amplitud ultrasónica sobre el contenido de fenoles totales (mg GAE/100 g) a 15 min..... 36

Figura 8. Superficie de respuesta del efecto de metanol (A) y amplitud ultrasónica (B) sobre la capacidad antioxidante (µmol TE/100 g) a 15 min..... 37

Figura 9. Optimización de múltiples respuestas mediante función de deseabilidad: región óptima operativa para maximización simultánea de antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante..... 38

Figura 10. Gráfico de contorno bidimensional de la función de deseabilidad para la optimización de la extracción asistida por ultrasonido (EAU), en función de la concentración de metanol y la amplitud ultrasónica, manteniendo constante el tiempo de sonicación óptimo (15 min)..... 38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ejemplares de *Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pav. depositados en el Herbario ISV..... 61

Anexo 2. Constancia de determinación botánica N°05-2024 62

An**exo 3.** Recoleccion de frutos de *Chondrodendron tomentosum* en estados de madurez verde, pintón y maduro en el caserío Villa Rica..... 63

Anexo 4. Caracterización biométrica de *C. tomentosum* en tres estados de maduración. 63

Anexo 5. Informe de ensayos del contenido de vitamica C en el fruto verde..... 64

Anexo 6. Informe de ensayos del contenido de vitamica C en el fruto pinton. 65

Anexo 7. Informe de ensayos del contenido de vitamica C en el fruto maduro. 66

Anexo 8. Caracterización fisicoquímica los frutos de *C. tomentosum* en estado verde, pintón y maduro..... 67

Anexo 9. Caracterización proximal del fruto maduro de *Chondrodendron tomentosum.* 67

Anexo 10. Informe de ensayos de fibra, proteína y grasa del fruto maduro. 68

Anexo 11. Extracción de compuestos bioactivos del fruto silvestre de *C. tomentosum* 69

Anexo 12. Procedimiento experimental para la determinación de la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH. 70

Anexo 13. Reacciones colorimétricas observadas en los ensayos de compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante..... 71

Anexo 14. Curva de calibración para la cuantificación de fenoles totales en fruto maduro 71

Anexo 15. Curva de calibración para capacidad antioxidante (DPPH). 72

Anexo 16. Análisis de varianza para antocianinas..... 72

Anexo 17. Análisis de varianza para fenoles totales..... 73

Anexo 18. Análisis de varianza para capacidad antioxidante 74

RESUMEN

En los últimos años, el interés científico por frutos silvestres poco estudiados ha aumentado debido a su contenido de compuestos bioactivos. Entre estas especies se encuentra la uva de montaña (*Chondrodendron tomentosum)*, fruto que no presenta información científica respecto a su composición y propiedades lo que restringe su conocimiento y posible valorización. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de *Chondrodendron tomentosum* obtenidos en diferentes condiciones de extracción asistida por ultrasonido (EAU). Se aplicó la metodología de superficie de respuesta con diseño Box-Behnken evaluando concentración de metanol (25 - 75 %), amplitud ultrasónica (30 - 70 %) y tiempo de sonicación (1 - 15 min). Las condiciones óptimas de extracción (metanol: 57%, amplitud ultrasónica: 70% y tiempo de sonicación: 15 min) dieron como resultado las mayores concentraciones de fenoles, antocianinas y capacidad antioxidante siendo 672.46 ± 5.84 mg de GAE/100 g, 120.71 ± 1.89 mg cianidina-3-glucósido/L y 5857.31 ± 60.20 µmol TE/100 g, respectivamente. La EAU permitió la máxima extracción de compuestos bioactivos en frutos maduros. El estudio aporta información inicial sobre las características fisicoquímicas y bioactivas del fruto; sin embargo, se requiere una caracterización más profunda de su composición, bioactividad y seguridad, a fin de sustentar su aprovechamiento y valorización, especialmente mediante su incorporación en matrices alimentarias.

Palabras claves: drupa, cianidina-3-glucósido, extracción optimizada, Menispermaceae

ABSTRACT

In recent years, scientific interest in little-studied wild fruits has increased due to their content of bioactive compounds. Among these species is the mountain grape (*Chondrodendron tomentosum*), a fruit for which there is no scientific information regarding its composition and properties, which limits our understanding of it and its potential for commercialization. Therefore, the objective of this study was to evaluate the bioactive compounds and antioxidant capacity of *Chondrodendron tomentosum* obtained under different conditions of ultrasound-assisted extraction (UAE). A response surface methodology using a Box-Behnken design was applied to evaluate methanol concentration (25–75%), ultrasonic amplitude (30–70%), and sonication time (1–15 min). The optimal extraction conditions (methanol: 57%, ultrasonic amplitude: 70%, and sonication time: 15 min) yielded the highest concentrations of phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity, at 672.46 ± 5.84 mg of GAE/100 g, 120.71 ± 1.89 mg of cyanidin-3-glucoside/L, and 5857.31 ± 60.20 µmol TE/100 g, respectively. UEA allowed for the maximum extraction of bioactive compounds from ripe fruits. The study provides preliminary information on the physicochemical and bioactive properties of the fruit; however, a more in-depth characterization of its composition, bioactivity, and safety is needed to support its use and valorization, particularly through its incorporation into food matrices.

Keywords: drupa, cyanidin-3-glucoside, optimized extraction, Menispermaceae

I. INTRODUCCIÓN

Los frutos silvestres suelen estar infrautilizados y son menos conocidos; sin embargo, en las últimas décadas diversos estudios han demostrado que son uno de los alimentos más nutritivos disponibles, gracias a su rico y diverso contenido de compuestos bioactivos. Entre estos destacan los ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, vitaminas y minerales, reconocidos por sus numerosas propiedades beneficiosas para la salud (Achaglinkame et al., 2019; Vega-Galvez et al., 2021). Estos compuestos no solo contribuyen a los atractivos colores, sabores únicos y texturas delicadas de las bayas, sino también a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, gastroprotectoras, antimicrobianas, antidiabéticos y anticancerígenos (Bozdoğan et al., 2025; Feng et al., 2016), lo que las convierte en candidatas valiosas para su uso en alimentos funcionales e innovaciones nutracéuticas. Debido a estas características, los frutos silvestres han despertado un creciente interés entre científicos y profesionales de la salud a nivel mundial (Gomez-Perez et al., 2025).

Otros frutos silvestres, como las drupas de *Chondrodendron tomentosum*, permanecen en gran medida inexplorados, lo que representa una oportunidad relevante para la investigación científica. Estas podrían constituir una fuente emergente de compuestos bioactivos con potenciales propiedades funcionales orientadas a la mejora de la salud y el bienestar. *Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pav., conocida localmente en San José de Lourdes (San Ignacio, Cajamarca, Perú) como “uva de montaña”, es una liana leñosa amazónica perteneciente a la familia Menispermaceae, que produce drupas de color púrpura oscuro agrupadas en infrutescencias de 3–6 unidades (Instituto de Salud Pública, 2021). Sus frutos se consumen en estado fresco y presentan un periodo de maduración entre julio y septiembre en bosques montanos ubicados entre 1500 y 2000 m s. n. m. Además de su uso alimentario, históricamente de su corteza, tallos y raíces se obtenía la d-tubocurarina, un alcaloide con efecto neuromuscular que causa la muerte únicamente cuando ingresa al torrente sanguíneo. Por vía oral, este compuesto resulta inofensivo debido a su escasa absorción en el tracto digestivo, asociada a su elevado peso molecular y carga química (Nasiripourdori et al., 2011; Randall & Feldman, 2025). A pesar de estar clasificada como “preocupación menor” en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Beech, 2023), sus poblaciones naturales evidencian una disminución progresiva, atribuida principalmente a la explotación ilegal, la deforestación y la consecuente pérdida de biodiversidad.

La revisión de bases de datos científicas como Scopus, PubMed, Web of Science, Science Direct y Google Scholar evidencia que la investigación sobre la “uva de montaña” (*C. tomentosum*) se ha centrado principalmente en la planta, sin reportarse estudios específicos sobre el fruto en sus diferentes estados de madurez. Esta brecha de conocimiento resalta la necesidad de desarrollar investigaciones orientadas a la caracterización de su composición fisicoquímica y perfil de compuestos bioactivos, así como de sus metodologías de extracción. Asimismo, la limitada información disponible no solo restringe su valorización científica e industrial, sino que también contribuye indirectamente al desaprovechamiento de este recurso, pese a su potencial como alimento, materia prima y fuente para el desarrollo de productos funcionales.

En este contexto, la investigación se centra en la caracterización fisicoquímica y funcional del fruto de *Chondrodendron tomentosum*, evaluando sus compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y la optimización de su extracción asistida por ultrasonido. Se analizan diferentes estados de madurez y, en el fruto maduro, se aplica la metodología de superficie de respuesta considerando la concentración de solvente, la amplitud ultrasónica y el tiempo de sonicación, para determinar su influencia en la recuperación de compuestos bioactivos y establecer las bases para futuras aplicaciones alimentarias.

Por otro lado, en los últimos años se ha observado una tendencia creciente hacia la implementación de técnicas de extracción innovadoras orientadas a reducir el impacto ambiental (Carpentieri et al., 2021). Entre estas, la extracción asistida por ultrasonido (EAU) se ha consolidado como una de las más empleadas. Existen dos configuraciones principales de sistemas ultrasónicos: el baño de ultrasonido y la sonda ultrasónica. Entre ambos sistemas, la sonda ultrasónica ha demostrado mayor eficiencia en los procesos de extracción (Geow et al., 2021), debido a que concentra una mayor intensidad de energía en un área reducida, específicamente en la punta de la sonda. Esta característica disminuye la disipación energética y, en consecuencia, incrementa la eficacia del tratamiento ultrasónico durante la extracción (Athanasiadis et al., 2024).

Además, la EAU presenta ventajas significativas, tales como la reducción del tiempo de extracción, el incremento en el rendimiento y una mayor selectividad en la recuperación de compuestos de interés (Bhadange et al., 2024). En este contexto, su aplicación ha demostrado ser eficaz en la extracción de antocianinas, compuestos fenólicos y antioxidantes a partir de diversas matrices vegetales, incluyendo endrinas (González-De-Peredo et al., 2020), Cauchao (Gomez-Perez et al., 2025), jabuticaba (Fernández-Barbero et al., 2019),

mirto (González de Peredo et al., 2019) y aronia negra (Vázquez-Espinosa et al., 2019), entre otras.

Diversos estudios han abordado la caracterización fisicoquímica, nutricional y funcional de frutos subutilizados, así como la optimización de técnicas de extracción de compuestos bioactivos. En este sentido, Nehring et al. (2022) evaluaron los fitoquímicos funcionales de la grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck): Efecto de las condiciones ambientales y del proceso de maduración. Se reportaron valores de humedad entre 86.18 y 89.94 g/100 g, proteína entre 0.65 y 0.83 g/100 g PF y cenizas entre 0.34 y 0.49 g/100 g PF. Asimismo, evidenciaron una interacción estadísticamente significativa entre la ubicación de cultivo y el estado de maduración sobre el contenido de humedad y proteína. De manera similar, Flor-Unda et al. (2024), en un estudio sobre la caracterización fisicoquímica y capacidad antioxidante del açaí (*Euterpe oleracea*) en la región ecuatoriana, reportaron que durante la maduración el contenido de azúcares (°Brix) aumentó, mientras que la acidez disminuyó independientemente de la región de origen. Además, se observaron variaciones en el contenido de grasa (0.83 ± 0.04 a 12.15 ± 0.11 g·100 g^{-1}), proteína (4.38 ± 0.58 a 5.36 ± 0.55 g·100 g^{-1}) y cenizas (0.12 ± 0.01 a 0.15 ± 0.01 g·100 g^{-1}).

Por su parte, Uma et al. (2023) evaluaron nutricionalmente a *Chrysophyllum oliviforme* L. (Sapotaceae) una fruta exótica subutilizada, reportando dimensiones promedio de 1.40 ± 0.03 cm de largo y 0.90 ± 0.03 cm de ancho, un pH de 6.50 ± 0.29 y contenidos de carbohidratos (5.30 ± 0.21 mg/g), proteínas (6.30 ± 0.19 mg/g), lípidos (14.00 %) y tiamina (0.04 mg/g). En la misma línea, Sasikumar et al. (2021) realizaron la caracterización fisicoquímica y modelado de masas del fruto de sangre (*Haematocarpus Validus*): una fruta subutilizada del noreste de la India. Se determinaron dimensiones promedio de 3.56 cm de longitud, 2.49 cm de ancho y 2.51 cm de grosor, además de un contenido de humedad de 79 ± 0.71 % (wb) y niveles de proteínas, cenizas, grasa y fibra superiores a los observados en otras frutas tipo baya.

En cuanto a la extracción de compuestos bioactivos, Vázquez-Espinosa et al. (2019) realizaron la extracción asistida por ultrasonido de dos tipos de compuestos antioxidantes (TPC y TA) de la aronia negra (*Aronia melanocarpa* L.): Optimización de los métodos de extracción individual y simultánea. Determinaron como condiciones óptimas un 54 % de metanol, pH 2.72, temperatura de 69.4 °C, amplitud del 70 %, ciclo de 0.7 s y relación muestra/solvente de 0.5:18.2 g: mL.

De manera análoga, Fernández-Barbero et al. (2019) optimizaron la extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos del fruto de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) mediante un diseño experimental de Box-Behnken. Se establecieron que las condiciones óptimas para la extracción de antocianinas correspondieron a un pH de 7.00, temperatura de 39.8 °C, relación solvente:muestra de 20:1.5 mL:g, amplitud ultrasónica del 34 % y ciclo de 0.47 s. En el caso de los compuestos fenólicos totales, las condiciones óptimas fueron: pH 7.00, temperatura de 26.0 °C, relación solvente:muestra de 20:1.5 mL:g, amplitud ultrasónica del 68.5 % y ciclo de 0.5 s.

Asimismo, Kashyap et al. (2023) estudiaron la bioaccesibilidad de polifenoles y actividad antioxidante del extracto de orujo de cereza de Meghalay (*Prunus nepalensis*) digerido in vitro mediante ultrasonido. Mediante un diseño experimental Box-Behnken, determinaron como condiciones óptimas una concentración de solvente del 55.18 %, relación solvente-soluto de 23.29 mL/g, tiempo de extracción de 27.93 min y amplitud ultrasónica del 33.48 %. Bajo estas condiciones, se obtuvieron valores de 133.88 mg GAE/g de fenoles totales, 87.30 % de actividad DPPH y 0.59 mg AAE/g mediante FRAP.

Drăghici-Popa et al. (2025) optimizaron la extracción de compuestos fenólicos de frutos de endrino rumano (*Prunus spinosa* L.) mediante ultrasonidos. Los autores reportaron como condiciones óptimas una relación disolvente/material vegetal de 15.1 cm^3/g, concentración de etanol de 33.2 %, temperatura de extracción de 66.8 °C, pH 7, amplitud ultrasónica del 50 % y tiempo de extracción de 10 min. Los valores obtenidos bajo las condiciones óptimas fueron de 14.45 ± 0.718 mg GAE/g DM de compuestos fenólicos totales, 0.405 ± 0.057 mg equivalentes de cianidina-3-glucósido (C3GE) /g DM de antocianinas y 16.75 ± 1.144 mg TE/g DM de capacidad antioxidante.

Por otro lado, De Sousa et al. (2021) optimizaron los métodos de extracción con líquido presurizado y ultrasonido para la recuperación de antocianinas presentes en el fruto de jambolán (*Syzygium cumini* L.). Entre los métodos evaluados, la extracción mediante ultrasonido de sonda (PUE) presentó la mayor recuperación de antocianinas, alcanzando 60.5 mg $C3G \cdot g^{-1}$ DF. Mediante metodología de superficie de respuesta (RSM), los autores determinaron como condiciones óptimas una densidad de potencia ultrasónica de 5000 W/L, tiempo de extracción de 7.5 min y concentración de etanol de 79.6 %.

Finalmente, Bernal-Gallardo et al. (2021) estudiaron el contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos de frutos de arándanos

silvestres (*Vaccinium stenophyllum* Steud) durante la maduración. Se demostró que el estado de maduración influye significativamente en el contenido de compuestos bioactivos. Los frutos inmaduros presentaron mayores niveles de fenoles totales (19.153 ± 0.175 mg GAE/g PS) y actividad antioxidante (196.761 ± 0.641 µmol TE/g PS mediante ABTS y 146.580 ± 6.466 µmol TE/g PS mediante DPPH). En contraste, los frutos maduros mostraron mayor contenido de antocianinas totales (0.141 ± 0.004 mg CE/g PS) y cianidina-3-glucósido (19.230 ± 0.309 mg CGE/g PS).

Por lo tanto, el objetivo general del estudio presentado fue evaluar los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del fruto silvestre *C. tomentosum* obtenidos en diferentes condiciones de extracción asistido por ultrasonido. Adicionalmente, (i) Determinar las características biométricas, fisicoquímicas y proximales del fruto silvestre *C. tomentosum*, (ii) Extraer y cuantificar los compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante del extracto obtenido en diferentes porcentajes de metanol, amplitudes y tiempos, (iii) Optimizar la extracción asistida por ultrasonido de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del fruto maduro mediante el método de superficie respuesta y (iv) Evaluar la variabilidad del contenido de antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante durante la maduración de *C. tomentosum.*

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Lugar de ejecución

El desarrollo experimental del proyecto, que incluyó la caracterización biométrica, fisicoquímica y proximal de los frutos, se realizó en el laboratorio de Nutrición y Toxicología. El proceso de extracción de pigmentos se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales, mientras que la cuantificación de compuestos bioactivos (antocianinas y fenoles) y la determinación de la capacidad antioxidante se desarrollaron en el laboratorio de Control de Calidad. Todos estos laboratorios pertenecen al Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa (UNS), ubicado en el distrito de Nuevo Chimbote.

2.2 Población, muestra y muestreo

2.2.1 Población

La población estuvo constituida por los frutos de *C. tomentosum* provenientes de individuos silvestres ubicados en el caserío de Villa Rica, distrito de San José de Lourdes, provincia de San Ignacio, región Cajamarca, Perú. Se consideraron como unidades poblacionales todos los frutos desarrollados en plantas adultas presentes en el área de estudio durante el periodo de recolección.

2.2.2 Muestra

La muestra estuvo conformada por frutos de *C. tomentosum* recolectados en tres estados de madurez: verde, pintón y maduro. Se recolectaron 2 Kg de fruto verde, 2 kg de pintón y 2 Kg de maduro, sumando un total de 6 Kg de frutos frescos. Los frutos fueron seleccionados visualmente con base en criterios de uniformidad de tamaño, integridad física y ausencia de daño mecánico o fitopatológico. Cada estado de madurez constituyó una unidad experimental independiente para los análisis posteriores.

2.2.3 Muestreo

El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección de los frutos se realizó de manera dirigida en función de la accesibilidad al área de estudio y la disponibilidad estacional del recurso silvestre. La recolección se efectuó directamente de plantas previamente identificadas como pertenecientes a la especie en estudio, priorizando frutos representativos de cada estado de madurez.

2.3 Materiales

2.3.1 Reactivos

El reactivo de Folin-Ciocalteu, 2,2-difenil-1- picrilhi-drazilo (DPPH), ácido (±)-6-hidroxi-2,5,7,8- tetrametilcroman-2-carboxilico (Trolox), metanol, cloruro de potasio, acetato de sodio, ácido clorhídrico y el ácido acético glacial se adquirieron de Sigma-Aldrich. El carbonato de sodio fue suministrado por J.T. Baker, mientras que el ácido gálico fue obtenido de Merck. El hidróxido de sodio y el indicador fenolftaleína fueron de grado analítico. Todas las soluciones se prepararon con agua destilada.

2.4 Métodos, técnicas, procedimientos y técnicas de recolección de datos:

2.4.1 Metodologías:

2.4.1.1 Colecta y transporte del material vegetal

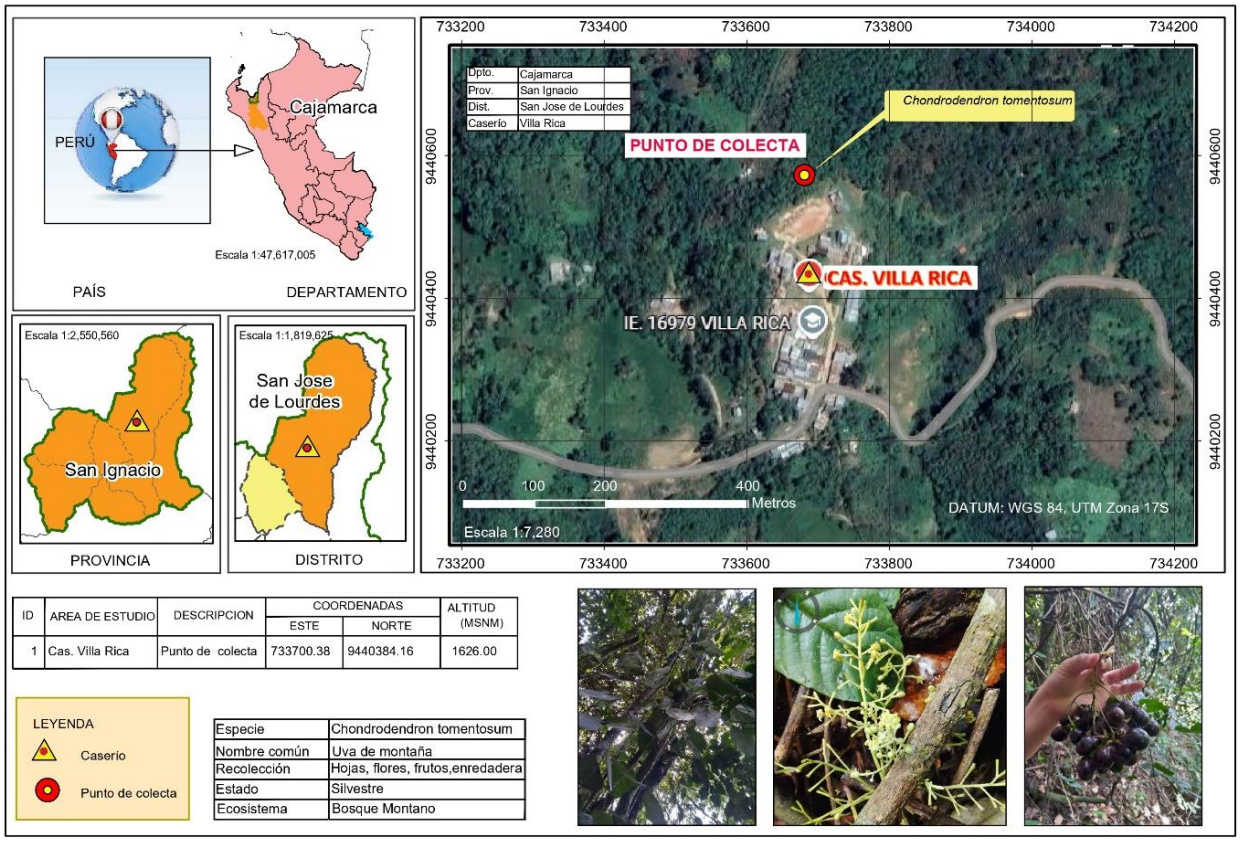
Los frutos silvestres de *C. tomentosum* se recolectaron en tres estados de madurez: verde (índice 0), pintón (índice 1) y maduro (índice 2) (Anexo 3), en un bosque montano del caserío de Villa Rica, distrito de San José de Lourdes, provincia de San Ignacio, Cajamarca, Perú (UTM 733700.38 m E; 9,440,384.16 m N; Zona 17S; 1626 m s.n.m.) (Figura 1). Durante la colecta (julio–agosto, 2025) se seleccionaron únicamente frutos sanos, sin daño mecánico, magulladuras ni signos visibles de ataque por insectos o patógenos.

La identificación taxonómica se realizó a partir de una colecta inicial en agosto de 2024, depositándose un ejemplar de referencia en el Herbario “Isidoro Sánchez Vega” (ISV) de la Universidad Nacional de Jaén (ver Anexo 1), conforme a la Constancia de determinación botánica N.º 05-2024 (ver Anexo 2). Para confirmar la consistencia de la determinación, se efectuó una segunda colecta en diciembre de 2025 en los mismos puntos georreferenciados.

Las muestras se transportaron en cooler con gel packs bajo condiciones de refrigeración (4 ± 1 °C) hasta el Laboratorio de Nutrición y Toxicología del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA), Universidad Nacional del Santa (Nuevo Chimbote), para su acondicionamiento y procesamiento inmediato.

Figura 1

Ubicación georreferenciada del área de colecta de C. tomentosum en Villa Rica, San José de Lourdes, San Ignacio, Cajamarca, Perú (Zona 17S, WGS 84).



2.4.1.2 Acondicionamiento de la materia prima

Descripción del proceso de acondicionamiento del fruto

- **Recepción**

  Se recepcionaron 6 kg de frutos de *C. tomentosum* previamente colectados, verificándose la cantidad y las condiciones generales del material para su ingreso al proceso.

- **Lavado**

  Los frutos se lavaron con abundante agua potable con el fin de eliminar tierra, restos vegetales y material extraño adherido a la superficie.

- **Desinfección**

  Se desinfectaron mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio (80 mg/L) durante 2 min, con el objetivo de reducir la carga microbiana superficial. Finalizado el tratamiento, se enjuagaron con agua destilada para eliminar

residuos del desinfectante y se secaron a temperatura ambiente sobre papel toalla durante 1 h.

- **Selección**

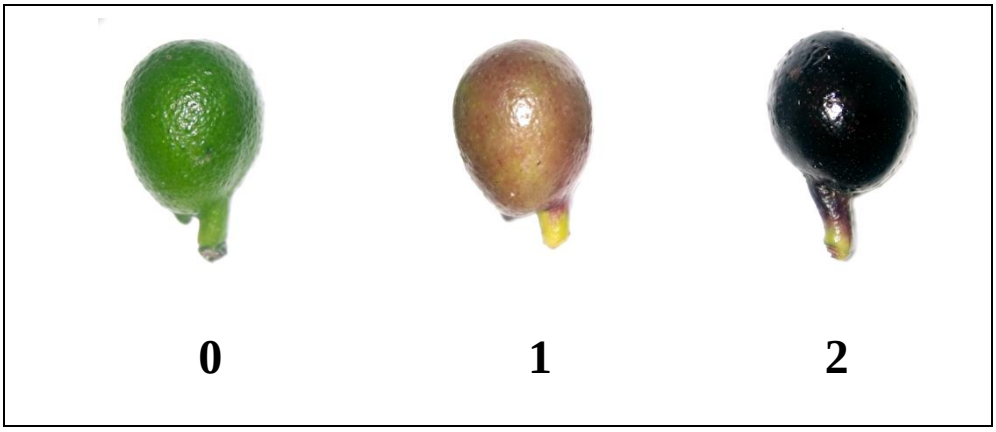
  La selección se realizó manualmente mediante inspección visual, descartándose frutos con daño mecánico, signos de deterioro fisiológico o evidencia de contaminación biológica, garantizando homogeneidad y calidad de la muestra experimental.

- **Clasificación**

  Para la clasificación por estado de madurez se tomó como referencia la tabla colorimétrica visual de los frutos *Olea europaea* L, definiendo tres categorías según pigmentación epicárpica: verde (índice 0) - epidermis verde uniforme sin pigmentación; pintón (índice 1) - epidermis con 25–75% de pigmentación púrpura-rojiza; maduro (índice 2) - epidermis púrpura oscuro uniforme con >95% de superficie pigmentada (Figura 2).

Figura 2

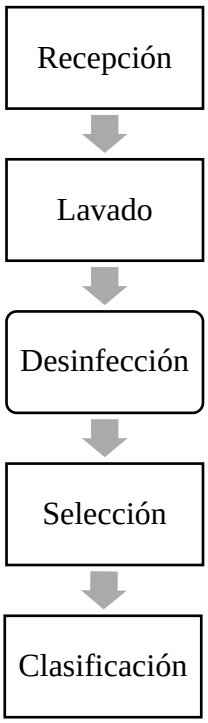
Frutos de C. tomentosum en diferentes etapas de madurez



En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo del proceso de acondicionamiento del fruto realizado de manera secuencial.

Figura 3

Flujograma para el acondicionamiento de la materia prima



ETAPA I: Caracterización del fruto

2.4.1.3 Caracterización biométrica

Se evaluaron 150 frutos distribuidos en tres estados de madurez (50 verdes, 50 pintones y 50 maduros). A los tres días de la recolección, los frutos fueron caracterizados mediante los descriptores cuantitativos de peso fresco, diámetro polar y diámetro ecuatorial (Anexo 4), de acuerdo con la metodología reportada por Rymbai et al. (2024).

- **Peso**

  Utilizando una balanza de precisión (Precisa, LX-4200C, Siuza), con una sensibilidad de 0.01 g se pesaron los frutos seleccionados al azar, registrando las lecturas y el resultado fue expresado en gramos (g).

- **Diámetros**

  Los diámetros se midieron con un calibrador vernier de acero inoxidable (Pretul, escolar, México). El diámetro polar correspondió a la zona más larga; el diámetro ecuatorial se midió perpendicularmente en la zona de mayor anchura del fruto. El resultado se expresó en centímetros (cm).

2.4.1.4 Preparación de la muestra para análisis fisicoquímicos, proximales y extracción

De cada muestra correspondiente a los estados de madurez verde, pintón y maduro, se separaron manualmente las semillas del pericarpio (cáscara y pulpa). Posteriormente, el pericarpio se trituró en un mortero previamente limpio y desinfectado hasta obtener una pasta homogénea. La muestra homogeneizada fue utilizada para los análisis fisicoquímicos y proximales, así como para la obtención de extractos mediante extracción asistida por ultrasonido.

2.4.1.5 Caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica del fruto de *C. tomentosum* en sus tres estados de madurez (verde, pintón y maduro) se llevó a cabo siguiendo procedimientos estandarizados establecidos en métodos oficiales para el análisis de alimentos.

- **Vitamina C AOAC 967.21 (2019):** Fue determinado por el laboratorio La Molina Calidad Total Laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina, bajo la modalidad de prestación de servicios. Los informes correspondientes se muestran en los Anexos 5, 6 y 7.
- **Determinación de pH AOAC 981.12 (2023):** Se desarrolló usando el método potenciométrico. Se colocaron 20 g de muestra homogenizada en un vaso de precipitados y se introdujo el electrodo del pHmetro de mesa (Hanna, HI2211, Rumania), previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0. Tras la estabilización, se anotó el valor obtenido (Anexo 8).
- **Sólidos solubles totales AOAC 932.12 (2023):** Se midieron mediante el método refractométrico**.** Se colocaron 3 gotas de la muestra en el prisma del refractómetro manual (Wmeters, REF108, China), se graduó y se leyó el resultado que se expresó en ^{o}Brix.
- **Acidez titulable AOAC 942.15 (2023):** Se valoró mediante el método de titulometría. Para ello, se pesaron 5 g de muestra homogeneizada en un matraz Erlenmeyer y se diluyeron con 45 mL de agua destilada. La mezcla se agitó y se adicionaron tres gotas de fenolftaleína como indicador. Posteriormente, se realizó la titulación con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, agregada gradualmente desde una bureta bajo agitación constante (Anexo 8). La titulación se dio por concluida al alcanzar un pH de 8.2, registrándose el volumen de NaOH consumido para el cálculo de la acidez titulable mediante la ecuación correspondiente.

$$\% \text{ de Acidez} = \frac{(V1 \times N \times Peq)}{V2} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

V1 = Volumen de NaOH utilizado en la valoración

N = Normalidad del NaOH 0.1N

Peq = Valor del miliequivalente en gramos del ácido cítrico (0,064)

V2= Volumen de la muestra (mL)

- **Índice de madurez:** Se calculó mediante la relación entre los sólidos solubles totales (ºBrix) y la acidez titulable de la drupa (Santos et al., 2019).

$$\text{Índice de madurez} = \frac{\text{Sólidos solubles totales}}{\% \text{ Acidez}} \quad (2)$$

2.4.1.6 Caracterización proximal

La evaluación proximal se realizó al fruto *C. tomentosum* en estado maduro (Anexo 9).

- **Humedad AOAC 945.15 (2023):** Inicialmente, se registró el peso la placa Petri vacía (W_1). Posteriormente, se pesaron 5 g muestra de fruta (W_2) y se sometió a secado en una estufa (POL-EKO/SLW 240, Polonia) a 105 º C durante 3 horas. Al termino de este tiempo, la placa se retiró y se dejó enfriar en un desecador por 30 min para finalmente registrar el peso de la muestra desecada (W_3). Se calculó el % de humedad por diferencia de peso.

$$\text{Humedad } (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} * 100 \quad (3)$$

- **Cenizas AOAC 223.03 (2023):** Se anotó el peso del crisol de porcelana vacío (W_1). Seguidamente, se pesaron 3 g de muestra (W_2) y se sometieron a incineración en una mufla (Protherm Furnaces, PLF 110/6, Francia) a 550 °C durante 4 horas hasta observar cenizas color blanco o ligeramente grisáceo. Finalizado el proceso, el crisol se retiró y se colocó en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente; finalmente, se registró el peso del residuo (W3). El contenido de cenizas totales se determinó a partir de la masa de dicho residuo.

$$\text{Cenizas totales } (\%) = \frac{W_3 - W_1}{W_2} * 100 \quad (4)$$

- Los contenidos de **grasa AOAC 930.09 (2019), fibra cruda NTP 205.003: 1980 (2011)** y **proteína cruda AOAC 954.01 (2019)** fueron determinados mediante prestación de servicios por el laboratorio La Molina Calidad Total Laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los informes de ensayo se adjuntan en el Anexo 10.
- **Carbohidratos:** Se estimaron por diferencia según el método AOAC 986.25 (2023), para lo cual se utilizó la ecuación 5.

$$\% \text{ de Carbohidratos} = 100-(A+B+C+D+E) \quad (5)$$

Donde:

A = Humedad (%)
B = Proteína cruda (%)
C = Grasa (%)
D = Fibra cruda (%)
E = Ceniza (%)

ETAPA II: Optimización de la EAU en fruto maduro

2.4.1.7 Obtención del extracto mediante extracción asistida por ultrasonido (EAU)

La extracción asistida por ultrasonido (EAU) se realizó siguiendo una metodología adaptada de Christou (2021) y Razola-Díaz et al. (2022). Para ello, se empleó únicamente pericarpio homogeneizado de frutos maduros (índice 2), preparado conforme al procedimiento descrito en la sección 2.4.1.4. Las principales etapas del proceso experimental se muestran en el Anexo 11.

- **Pesado**

  Se pesó 1 g de uva de montaña (*C. tomentosum*) en un vaso de precipitados (beaker) de 50 mL, utilizando una balanza analítica.

- **Acondicionado**

  A la muestra se le añadió una solución metanólica en una proporción muestra:solvente de 1:30 (g/mL), asegurando una adecuada dispersión del material vegetal en el solvente de extracción.

- **Extracción asistida por ultrasonido (EAU)**

  La mezcla fue sometida a extracción asistida por ultrasonido bajo condiciones controladas. La sonda ultrasónica se sumergió hasta el 50 % del volumen total,

evitando el contacto con las paredes del recipiente. La sonicación se realizó en modo continuo utilizando un homogeneizador ultrasónico (USCG 1800 – Infitek, China), equipado con un sonotrodo de titanio de 18 mm de diámetro, operando a 24 kHz y 2500 W.

La extracción se llevó a cabo empleando diferentes concentraciones de metanol (25 a 75%), amplitudes de ultrasonido (30 a 70%) y tiempos de sonicación (1 a 15 min), de acuerdo con el diseño experimental descrito en la sección 2.4.3.

- **Centrifugado**

  Finalizado el proceso de extracción, las muestras fueron centrifugadas a 4200 rpm durante 15 min a 4 °C, utilizando una centrífuga (4-16KS, Sigma, Alemania), con el fin de separar el sobrenadante del residuo sólido.

- **Filtrado**

  El sobrenadante obtenido fue filtrado mediante papel Whatman N° 42 para eliminar partículas en suspensión y obtener un extracto claro.

- **Envasado**

  El filtrado se recolectó en tubos tipo Falcon, los cuales fueron recubiertos con papel aluminio para proteger las muestras de la luz y evitar la degradación de compuestos sensibles.

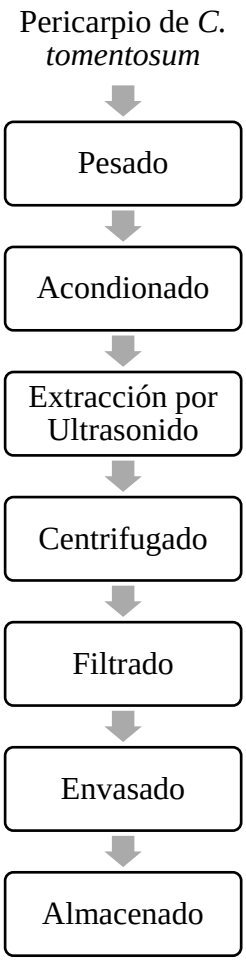
- **Almacenado**

  Finalmente, los extractos fueron almacenados a −20 °C hasta su posterior análisis.

En la figura 4 se muestra de manera secuencial las etapas involucradas en la obtención del extracto final mediante extracción asistida por ultrasonido (EAU).

Figura 4

Flujograma para la obtención del extracto concentrado mediante EAU



2.4.1.8 Cuantificación de antocianinas

La cuantificación de antocianinas de los extractos de uva de montaña se determinó mediante el método de pH diferencial descrito por Lee et al. (2005) con ligeras modificaciones. Para ello, se prepararon dos soluciones tampón: cloruro de potasio (pH=1; 0.025 M) y acetato de sodio (pH= 4.5; 0.4 M). Este método espectrofotométrico se basa en los cambios estructurales que experimentan las antocianinas en función del pH, presentando una coloración intensa a pH 1.0 y una forma prácticamente incolora a pH 4.5 (Anexo 13), lo que permite su cuantificación mediante la diferencia de absorbancias registradas en ambos medios.

Preparación de las diluciones:

1. Buffer pH 1.0 (cloruro de potasio 0.025 M): Se pesaron 0.186 g de KCl y se disolvieron en 90 mL de agua destilada. El pH de la solución se ajustó a 1.0 mediante la

adición de HCl concentrado. Posteriormente, la solución se transfirió a una fiola de 100 mL y se aforó con agua destilada hasta completar el volumen.

2. Buffer pH 4.5 (acetato de sodio 0.4 M). En un vaso precipitado se pesó 5.443 g de acetato de sodio y se añadió 90 ml de agua destilada. El pH se ajustó a 4.5 con ácido acético glacial y la solución se transfirió a una fiola de 100 mL, completándose el volumen con agua destilada.

Preparación de muestras:

Para cada muestra, se prepararon dos diluciones en tubos Eppendorf de 2 mL. La primera se obtuvo mezclando 500 µL de extracto de uva de montaña con 500 µL de solución tampón de cloruro de potasio (pH 1.0), mientras que la segunda se preparó utilizando 500 µL de extracto y 500 µL de solución tampón de acetato de sodio (pH 4.5). Las mezclas se homogeneizaron mediante agitación en un vórtex (MS 3 digital, IKA, Alemania) y se dejaron equilibrar durante 15 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se depositaron 200 µL de cada dilución en una microplaca de 96 pocillos y se registraron las absorbancias a 510 y 700 nm utilizando un lector híbrido multimodo de microplacas (BioTek Synergy H1, EE. UU.).

Se calculó el cambio de absorbancia de las muestras diluidas utilizando la siguiente ecuación:

$$A=\left(A_{510}-A_{700nm}\right)_{pH=1}-\left(A_{510}-A_{700nm}\right)_{pH=4.5} \qquad (6)$$

Los promedios de las mediciones se realizaron por triplicado y la concentración de antocianinas totales monoméricas se expresó como miligramos de cianidina 3-glucósido por Litro de muestra en base fresca, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Antocianinas Totales}\left(\frac{mg}{L}\right)=\frac{A\times PM\times FD\times 1\,000}{(\varepsilon\times 1)} \qquad (7)$$

Donde:

A = Absorbancia de la muestra.

PM = Peso molecular de antocianina como cianidina-3-glucósido (449.2).

FD = Factor disolución que se utilizó en el estudio.

Ɛ = Coeficiente de extinción molar (26900).

1 = Longitud del recorrido en cm.

1000 = Factor de conversión (g a mg).

2.4.1.9 Cuantificación de fenoles totales

Los fenoles totales se cuantificaron por el método de Folin-Ciocalteu mencionado por Alvarez-Parrilla et al. (2011). En primer lugar, se preparó una solución madre para la cual se pesó 1.5 mg de ácido gálico y se añadió 5 ml de metanol al 50%, a partir de esta se preparó 500 µL de diluciones en concentraciones crecientes de ácido gálico entre 0 – 300 µg/ml completando el volumen con metanol al 50% (Tabla 1).

Tabla 1
Concentraciones para la curva de calibrado a parir de ácido gálico

Estándar	Concentración Ácido gálico (µg/ml)	Solución madre de Ácido gálico (µL)	Metanol al 50% (µL)
Control	0	0	500
1	60	100	400
2	120	200	300
3	180	300	200
4	240	400	100
5	270	450	50
6	300	500	0

Procedimiento:

1. Para realizar la curva de calibración, se tomaron 7 microtubos Eppendorf de 2 ml y se les agregó 80 µL de las concentraciones de ácido gálico (µg/ml) preparadas anteriormente, tal como se indica en la tabla 1.
2. Para analizar las muestras se preparó y rotulo microtubos Eppendorf a los mismos que se les coloco 80 µL de extracto de uva de montaña.
3. Posteriormente, a los microtubos del procedimiento 1 y 2 se les siguió adicionando 160 µL de Folin-Ciocalteu al 10%.
4. La solución se llevó al vórtex y se incubó en oscuridad por 5 minutos.
5. A continuación, se les añadió 640 µL de carbonato de sodio al 7.5%.
6. La solución se agitó y se dejó reaccionar en oscuridad durante 1 hora.
7. Finalmente, en una microplaca de 96 pocillos se colocó por separado 200 µL de la concentración para la curva de calibración y 200 µL de las muestras del fruto. Esto se realizó por triplicado; luego, se midió la absorbancia a 765 nm en el Lector de microplacas híbrido multimodo (BioTek Synergy H1, EE. UU).
8. Se obtuvo la curva de calibración (Anexo 14) y la lectura de todas las muestras.

9. Para manifestar los resultados en mg de ácido gálico por cada 100 g de muestra en base fresca, se consideró la concentración del extracto, el volumen de alcohol metílico usado en la extracción y el total de muestra que se usó para hacer el estudio. Se aplicó la presente ecuación:

$$\left[\frac{\text{mg ácido gálico}}{\text{100 g de muestra}}\right] = [\text{Conc. del extracto}]^* \left[\frac{\text{V de muestra}}{\text{g de muestra}}\right]^*100 \qquad (8)$$

2.4.1.10 Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se analizó mediante el método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), siguiendo la metodología descrita por Pyrzynska & Pękal (2013). Las principales etapas del procedimiento experimental se muestran en el Anexo 12.

a) Preparación de muestras

Se prepararon diluciones de los extractos concentrados de uva de montaña en tubos tipo Eppendorf, siguiendo las proporciones establecidas en la Tabla 2.

Tabla 2
Disoluciones de la muestra antes de evaluar los compuestos fenólicos

Extracto concentrado	Relación	Dilución
A1	1:5	200 µL de muestra + 800 µL de metanol

b) Preparación de reactivos

1. Solución DPPH (1 mM): Se pesó 0.004 g de DPPH y se disolvió en 10 ml de metanol puro.
2. Solución madre de Trolox (1 mM): Se pesó 0.0125 g de trolox y se agregó 50 ml de metanol puro.
3. Homogeneización: Las soluciones preparadas se sometieron a agitación en un vórtex durante 15 s para asegurar su completa disolución.

c) Concentraciones de trolox para la curva de calibrado

A partir de la solución madre de Trolox (1 mM) se prepararon soluciones estándar con concentraciones entre 0 y 500 µM (Tabla 3), las cuales fueron utilizadas para elaborar la curva de calibración.

Tabla 3

Concentraciones para la curva de calibrado a partir de trolox

Estándar	Concentración Trolox (µM)	Solución madre de Trolox 1 mM (µL)	Metanol (µL)
Control	0	0	5000
1	5	25	4975
2	10	50	4950
3	25	125	4875
4	50	250	4750
5	100	500	4500
6	200	1000	4000
7	400	2000	3000
8	500	2500	2500

En ocho tubos tipo Eppendorf de 5 mL, previamente rotulados y numerados, se adicionaron los volúmenes correspondientes de solución madre de Trolox y metanol puro, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 3. Posteriormente, las mezclas se homogeneizaron mediante agitación en un vórtex durante 15 s.

d) Procedimiento en microplacas de 96 posillos

1. La solución de DPPH previamente preparada se colocó en un tubo Falcon de 50 mL protegido de la luz con papel aluminio. Posteriormente, se ajustó su concentración mediante la adición de metanol puro, homogeneizando la mezcla en un vórtex durante 15 s. La absorbancia se verificó a 515 nm utilizando una alícuota de 200 µL transferida a una microplaca, repitiéndose el ajuste hasta obtener un valor de 0.800 ± 0.03.
2. Curva de calibración: Se depositaron 10 µL de cada una de las ocho concentraciones preparadas (Tabla 3); cada ensayo se realizó por triplicado.
3. Muestras: Se depositaron 10 µL del extracto diluido en cada pocillo, efectuándose las determinaciones por triplicado.
4. Posteriormente, la microplaca se colocó en el lector híbrido multimodo de microplacas (BioTek Synergy H1, EE. UU.).
5. El equipo dispensó automáticamente 190 µL de la solución de DPPH previamente ajustada en cada pocillo, completando un volumen final de 200 µL.
6. La microplaca se incubó durante 30 min en oscuridad y, posteriormente, se registró la absorbancia a 515 nm.

7. La capacidad antioxidante se cuantificó a partir de la ecuación de la curva de calibración (Anexo 15). Los resultados se expresaron como micromoles de equivalentes de Trolox por 100 g de peso fresco (µmol TE/100 g PF).

2.4.2 Variables del estudio

Etapa I: Caracterización del fruto

Variables independientes

- Estados de madurez: Verde, pintón y maduro.

Variables dependientes

- Características biométricas: Peso, diámetro ecuatorial y diámetro polar.
- Características fisicoquímicas: Vitamina C, pH, solidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez.
- Características proximales (analizadas solo en fruto maduro): Humedad, cenizas, grasa, fibra cruda, proteína cruda y carbohidratos.

Etapa II: Optimización de la EAU en fruto maduro

Variables independientes

- A: Concentración de metanol (%)
- B: Amplitud ultrasónica (%)
- C: Tiempo de sonicación (min)

Variables dependientes

- Compuestos antociánicos
- Compuestos fenólicos
- Capacidad antioxidante (DPPH)

2.4.3 Diseño de la investigación

La EAU se optimizó mediante un diseño Box-Behnken de tres factores y tres niveles. Las variables independientes fueron la concentración de metanol (A: 25-75 %), la amplitud ultrasónica (B: 30-70 %) y tiempo de sonicación (C: 1-15 min) (Tabla 4). Se ejecutaron un total de 15 experimentos aleatorizados, con 3 puntos centrales (A: 50 %; B: 50 %; C: 8 min) (Tabla 5). Las variables respuesta incluyeron el contenido de

antocianinas (mg de C3G /L), fenoles totales (mg de GAE/100 g) y la capacidad antioxidante (µmol TE/100 g).

Tabla 4

Factores y niveles para el diseño Box-Behnken

Factores	Símbolo	Niveles	
		Bajo (-1)	Alto (+1)
Metanol (%)	A	25	75
Amplitud (%)	B	30	70
Tiempo **(**min)	C	1	15

Tabla 5

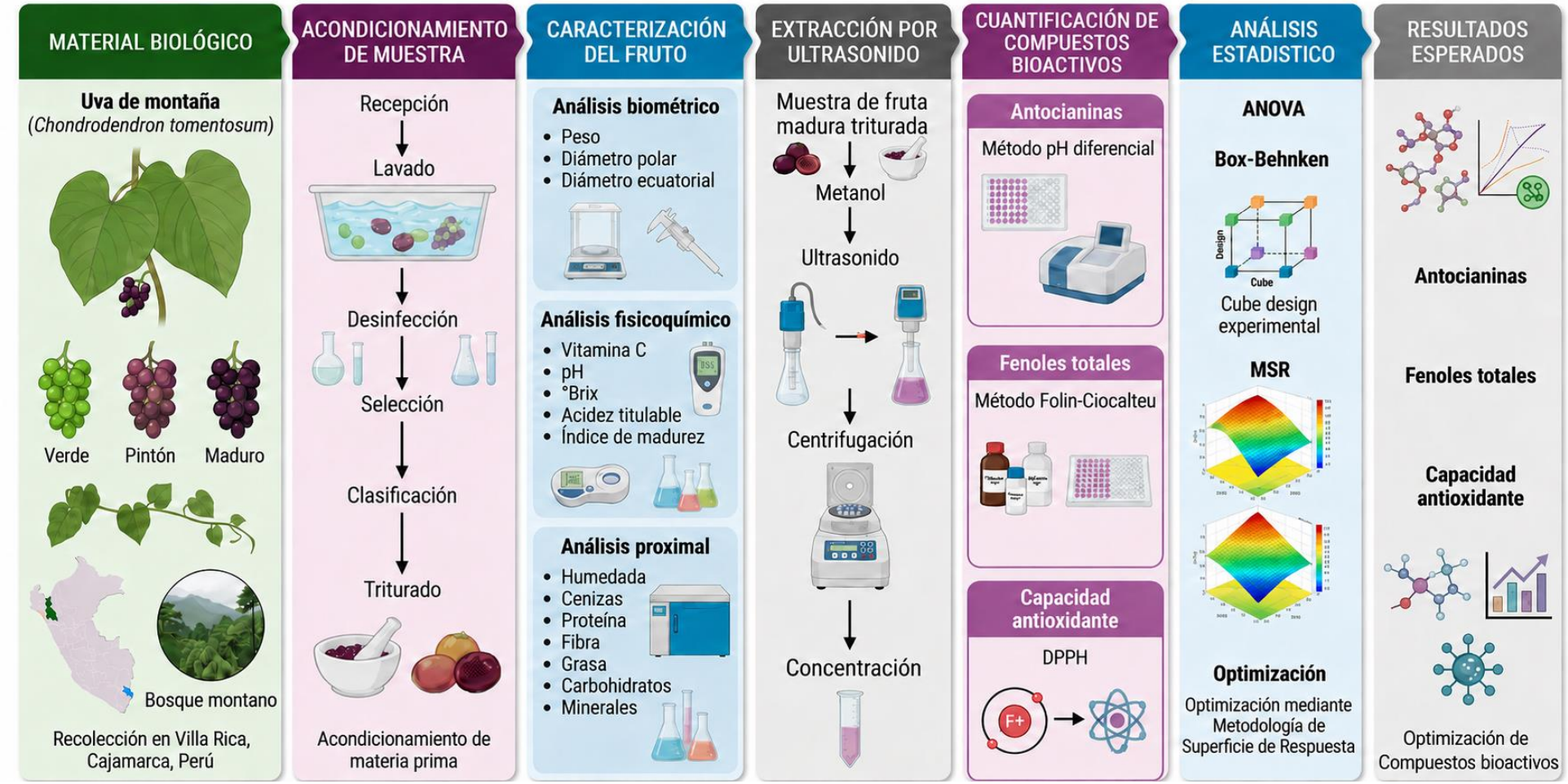
Diseño experimental de Box-Behnken para evaluar las tres variables independientes (A: Metanol %, B: Amplitud % y C: Tiempo min)

Variables Independientes					
Variables Codificadas			Variables reales		
A	B	C	Metanol (%)	Amplitud (%)	Tiempo (min)
(-1)	(-1)	0	25	30	8
(-1)	0	(-1)	25	50	1
(-1)	0	(+1)	25	50	15
(-1)	(+1)	0	25	70	8
0	(-1)	(-1)	50	30	1
0	(-1)	(+1)	50	30	15
0	0	0	50	50	8
0	0	0	50	50	8
0	0	0	50	50	8
0	(+1)	(-1)	50	70	1
0	(+1)	(+1)	50	70	15
(+1)	(-1)	0	75	30	8
(+1)	0	(-1)	75	50	1
(+1)	0	(+1)	75	50	15
(+1)	(+1)	0	75	70	8

En la figura 05 se observa el diagrama del diseño experimental de *C. tomentosum* según su estado de madurez.

Figura 5

Esquema metodológico del diseño experimental para la caracterización y optimización de compuestos bioactivos en Chondrodendron tomentosum



Nota: Esquema del flujo experimental desde la recolección del material vegetal hasta la optimización multirespuesta mediante MSR (Box–Behnken) del fruto maduro. La representación gráfica fue elaborada con apoyo de inteligencia artificial bajo dirección de la autora, siendo el diseño metodológico y el enfoque experimental responsabilidad exclusiva de la investigación.

2.4.4 Análisis estadísticos de datos

Los datos de caracterización del fruto se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA), seguido de la prueba post hoc de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando Minitab v14.

El diseño experimental y la optimización mediante metodología de superficie de respuesta (MSR) se realizaron en Statgraphics Centurion XVI.I®. Las variables independientes (factores) fueron la concentración de metanol (A), la amplitud ultrasónica (B) y el tiempo de sonicación (C), mientras que las variables de respuesta correspondieron al contenido de antocianinas (mg de cianidina-3-glucósido/L), compuestos fenólicos totales (mg de GAE/100 g) y capacidad antioxidante (µmol TE/100 g). Los datos experimentales se ajustaron mediante mínimos cuadrados a un modelo cuadrático en variables codificadas (Ec. 9)

$$y = \beta_0+\beta_A A+\beta_B B+\beta_C C+\beta_{AA} A^2+\beta_{BB} B^2+\beta_{CC} C^2+\beta_{AB} AB+\beta_{AC} AC+\beta_{BC} BC \quad (9)$$

Donde y representa la respuesta predicha; A, B y C corresponden a las variables independientes codificadas (metanol, amplitud y tiempo, respectivamente); β_0 es la intersección; β_A, β_B y β_C representan los coeficientes lineales; β_{AA}, β_{BB} y $\beta_{CC,}$ los coeficientes cuadráticos; y β_{AB}, β_{AC} y $\beta_{BC,}$ los coeficientes de interacción.

La adecuación de los modelos cuadráticos ajustados se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA), considerando la significancia global del modelo, los coeficientes de determinación (R^2 y R^2 ajustado) y la prueba de falta de ajuste (*lack of fit*). Un valor de $p > 0.05$ para la falta de ajuste se interpretó como evidencia de un ajuste adecuado del modelo a los datos experimentales, permitiendo la construcción válida de las superficies de respuesta.

Finalmente, las condiciones óptimas de extracción se determinaron mediante la función de deseabilidad de Derringer-Suich, maximizando simultáneamente las tres variables de respuesta.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización biométrica, fisicoquímica y proximal del fruto de *Chondrodendron tomentosum*

3.1.1 Características biométricas y fisicoquímicas de *C. tomentosum* en tres estados de madurez

En la Tabla 6 se presentan las características biométricas y fisicoquímicas de las muestras, observándose cambios asociados al proceso de maduración del fruto a medida que este completó su desarrollo. Todos los resultados se expresaron en base fresca.

Tabla 6

Características biométricas y fisicoquímicas en frutos de C. tomentosum en tres estados de madurez

Parámetro	Verde	Pintón	Maduro
Características biométricas			
Diámetro polar (cm)	2.34 ± 0.15 [b]	2.45 ± 0.22 [a]	2.49 ± 0.17 [a]
Diámetro ecuatorial (cm)	1.71 ± 0.15 [b]	1.90 ± 0.18 [a]	1.97 ± 0.14 [a]
Peso (g)	3.89 ± 0.86 [b]	5.24 ± 1.31 [a]	5.74 ± 1.07 [a]
Características fisicoquímicas			
Vitamina C (mg/100 g)	5.12 ± 0.01 [b]	4.78 ± 0.01 [c]	10.22 ± 0.01 [a]
SST (°Brix)	7.00 ± 0.00 [c]	7.50 ± 0.00 [b]	8.83 ± 0.29 [a]
pH	6.28 ± 0.04 [a]	4.60 ± 0.02 [b]	4.27 ± 0.02 [c]
Acide titulable (%)	0.25 ± 0.01 [c]	0.62 ± 0.02 [b]	0.94 ± 0.02 [a]
Índice de madurez	27.82 ± 0.83 [a]	12.13 ± 0.38 [b]	9.42 ± 0.49 [c]

Medias con letras diferentes en la misma fila presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Los valores representan la media ($n = 50$) ± desviación estándar (SD).

3.1.2 Caracterización proximal de frutos maduros

Los resultados del análisis proximal de los frutos de uva de montaña (*C. tomentosum*) en estado maduro se consolidan en la Tabla 7, expresados como el promedio ± la desviación estándar.

Tabla 7

Características proximales del fruto de C. tomentosum en estado maduro

Estado de madurez	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (g/100 g)	Proteína cruda (g/100 g)	Grasa (g/100 g)	Carbohidratos (%)
Maduro	90.45 ± 0.47	2.04 ± 0.14	2.49 ± 0.01	1.70 ± 0.02	0.05 ± 0.01	3.01 ± 0.49

3.2 Extracción y cuantificación de compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante

La MSR con diseño Box–Behnken permitió evaluar 15 combinaciones de metanol (25–75 %), amplitud ultrasónica (30–70%) y tiempo (1–15 min) sobre tres respuestas: antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/L), fenoles totales (mg GAE/100 g) y capacidad antioxidante (µmol TE/100 g) de *C. tomentosum* (Tabla 8).

Tabla 8

Condiciones de diseño experimental y variables de respuesta para la extracción de compuestos funcionales de frutos de C. tomentosum en estado maduro

Metanol (%)	Amplitud (%)	Tiempo (min)	Variables respuesta		
			Antocianinas[a]	Fenoles totales[b]	Capacidad antioxidante[c]
25 (-1)	30 (-1)	8 (0)	50.50 ± 1.28	431.45 ± 3.74	3106.72 ± 91.39
25 (-1)	50 (0)	1 (-1)	42.64 ± 0.64	372.05 ± 0.79	1869.09 ± 111.22
25 (-1)	50 (0)	15 (+1)	64.87 ± 2.61	608.97 ± 3.70	3784.06 ± 118.17
25 (-1)	70 (+1)	8 (0)	54.02 ± 1.58	525.86 ± 3.94	3491.38 ± 104.96
50 (0)	30 (-1)	1 (-1)	54.45 ± 0.79	386.91 ± 3.34	2688.60 ± 115.43
50 (0)	30 (-1)	15 (+1)	85.34 ± 2.64	576.94 ± 3.80	3758.98 ± 137.04
50 (0)	50 (0)	8 (0)	77.38 ± 0.72	572.04 ± 3.51	3859.33 ± 148.29
50 (0)	50 (0)	8 (0)	71.93 ± 1.68	516.29 ± 2.40	3725.53 ± 142.78
50 (0)	50 (0)	8 (0)	77.96 ± 1.58	535.42 ± 3.97	3625.18 ± 74.98
50 (0)	70 (+1)	1 (-1)	69.63 ± 1.45	441.83 ± 1.00	2872.57 ± 127.04
50 (0)	70 (+1)	15 (+1)	118.58 ± 2.57	677.67 ± 4.12	5799.38 ± 155.35
75 (+1)	30 (-1)	8 (0)	93.41 ± 2.15	538.73 ± 3.24	3449.57 ± 138.29
75 (+1)	50 (0)	1 (-1)	66.53 ± 1.21	448.27 ± 1.46	3098.35 ± 132.38
75 (+1)	50 (0)	15 (+1)	120.82 ± 1.79	667.21 ± 3.13	5581.96 ± 131.48
75 (+1)	70 (+1)	8 (0)	104.36 ± 2.81	547.09 ± 3.32	4469.78 ± 156.46

Variables respuestas expresadas como [a] mg cianidina-3-glucósido/L; [b] mg GAE/100g; [c] µmol TE/100g.

3.3 Optimización de compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante

3.3.1 Ajuste ANOVA y Coeficientes de Regresión

Los coeficientes de regresión (Tabla 9) indican que las tres respuestas (antocianinas, fenólicos totales y capacidad antioxidante) aumentaron con los efectos lineales del metanol (A), la amplitud ultrasónica (B) y el tiempo de sonicación (C) ($p \leq 0.015$). No se observaron efectos cuadráticos significativos (A^2, B^2, C^2: $p \geq 0.17$ en las respuestas), lo que sugiere la ausencia de un óptimo interior dentro del dominio experimental y la posible localización de los valores óptimos en los límites evaluados. Así mismo, dos interacciones resultaron significativas: A×C afectó positivamente la extracción de antocianinas ($p = 0.048$), mientras que B×C influyó positivamente sobre la capacidad antioxidante ($p = 0.0319$). Las demás interacciones no mostraron significancia estadística ($p > 0.20$).

Tabla 9

Coeficientes de regresión estimados (β) y valores P para los modelos cuadráticos ajustados para la extracción de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

	Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/L)		**Fenoles totales (mg GAE/100g)**		**Capacidad antioxidante (µmol TE/100g)**	
Término	**β**	**p-value**	**β**	**p-value**	**β**	**p-value**
Intercepto	75.755	–	541.251	–	3736.68	–
A (Metanol)	21.635	0.0002	32.871	0.006	543.55	0.0045
B (Amplitud)	7.862	0.0154	32.302	0.0065	453.656	0.0096
C (Tiempo)	19.544	0.0003	110.217	<0.0001	1049.47	0.0002
A^2	−8.466	0.2442	−27.183	0.2557	−303.831	0.3963
B^2	8.1	0.2624	−33.761	0.1719	89.198	0.7963
C^2	4.387	0.5245	−7.067	0.7522	−2.787	0.9935
AB	1.857	0.5731	−21.512	0.0882	158.884	0.3591
AC	8.016	0.0482	−4.495	0.6771	142.16	0.4078
BC	4.515	0.2028	11.454	0.3115	464.109	0.0319
	R^2: 97.62%	R^2 ajustada: 93.345%	R^2: 98.28%	R^2 ajustada: 95.180%	R^2: 96.57%	R^2 ajustada: 90.404%

A: concentración de metanol (%), B: amplitud ultrasónica (%) y C: tiempo de extracción (min).

Los modelos cuadráticos ajustados fueron estadísticamente significativos para las tres variables respuesta (p-modelo ≤ 0.0037), presentando elevados coeficientes de determinación: 97.62 % para antocianinas, 98.28 % para fenólicos totales y 96.57 % para capacidad antioxidante. Asimismo, los valores de R^2 ajustado fueron superiores al 90 %, indicando un adecuado ajuste de los modelos a los datos experimentales. De acuerdo con los análisis de varianza presentados en los Anexos 16, 17 y 18, la prueba de falta de ajuste no fue significativa para antocianinas (p = 0.170), fenólicos totales (p = 0.893) y capacidad antioxidante (p = 0.082), evidenciando que los modelos cuadráticos describieron adecuadamente la variabilidad experimental y permitieron una interpretación confiable de las superficies de respuesta. Adicionalmente, los resultados del estadístico de Durbin–Watson (2.64; 1.16 y 2.37, respectivamente) no evidenciaron autocorrelación residual significativa (p > 0.05). Las ecuaciones predictivas en variables codificadas fueron las siguientes:

$$\text{Antocianinas} = 75.755 + 21.635A + 7.862B + 19.544C - 8.466A^2 + 8.1B^2 + 4.387C^2 + 1.857AB + 8.016AC + 4.515BC \quad (10)$$

$$\text{Fenoles totales} = 541.251 + 32.871A + 32.302B + 110.217C - 27.183A^2 - 33.761B^2 - 7.067C^2 - 21.512AB - 4.495AC + 11.454BC \quad (11)$$

$$\text{Capacidad antioxidante} = 3736.68 + 543.55A + 453.656B + 1049.47C - 303.831A^2 + 89.198B^2 - 2.787C^2 + 158.884AB + 142.16AC + 464.109BC \quad (12)$$

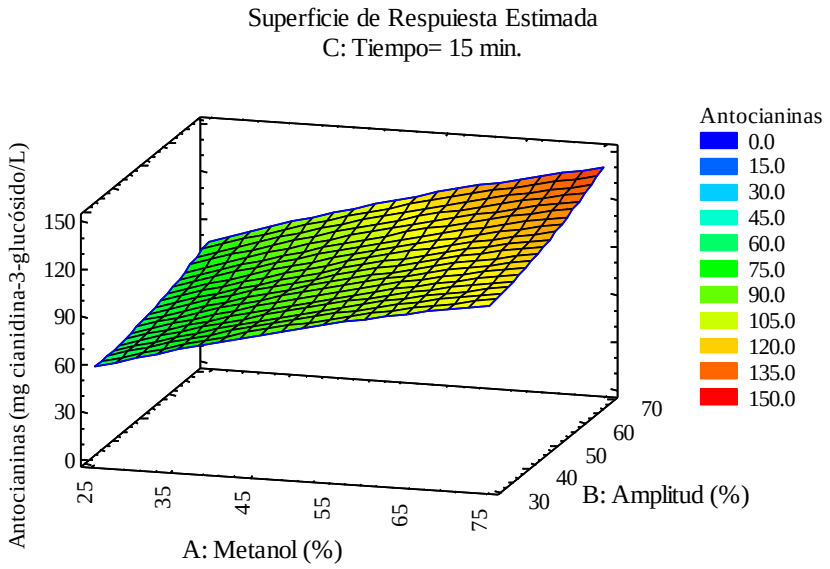
3.3.2 Superficies de Respuesta

La Figura 6 muestra la superficie de respuesta correspondiente al efecto del porcentaje de metanol (25–75 %) y la amplitud ultrasónica (30–70 %) sobre el contenido de antocianinas, manteniendo constante el tiempo de extracción en 15 min. De acuerdo con el modelo ajustado, el contenido de antocianinas presentó valores predichos entre aproximadamente 60 y 151 mg de cianidina-3-glucósido/L dentro del dominio experimental evaluado. Las menores concentraciones predichas se observaron en los niveles bajos de metanol y amplitud, mientras que las mayores respuestas se alcanzaron en las combinaciones de niveles altos de ambos factores. La tendencia ascendente de la superficie concuerda con los efectos lineales positivos observados en el análisis de

regresión, evidenciando un incremento progresivo del contenido de antocianinas conforme aumentaron ambos factores experimentales.

Figura 6

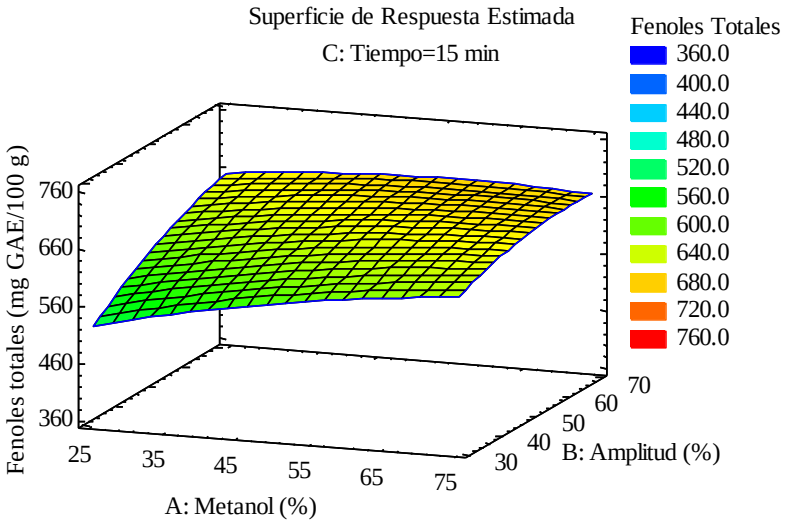
Superficie de respuesta del efecto de metanol (A) y amplitud ultrasónica (B) sobre el contenido de antocianinas en frutos de C. tomentosum (tiempo = 15 min)



La Figura 7 muestra la superficie de respuesta correspondiente al efecto del porcentaje de metanol (25–75 %) y la amplitud ultrasónica (30–70 %) sobre el contenido de fenoles totales, manteniendo constante el tiempo de extracción en 15 min. De acuerdo con el modelo ajustado, el contenido de fenoles totales presentó valores predichos entre aproximadamente 500 y 670 mg GAE/100 g dentro del dominio experimental evaluado. Las menores concentraciones predichas se observaron en los niveles bajos de metanol y amplitud, mientras que las mayores respuestas se registraron en las combinaciones de niveles altos de ambos factores. La inclinación ascendente de la superficie concuerda con los efectos lineales positivos obtenidos en el análisis de regresión, evidenciando un incremento progresivo del contenido fenólico conforme aumentaron el porcentaje de metanol y la amplitud ultrasónica.

Figura 7

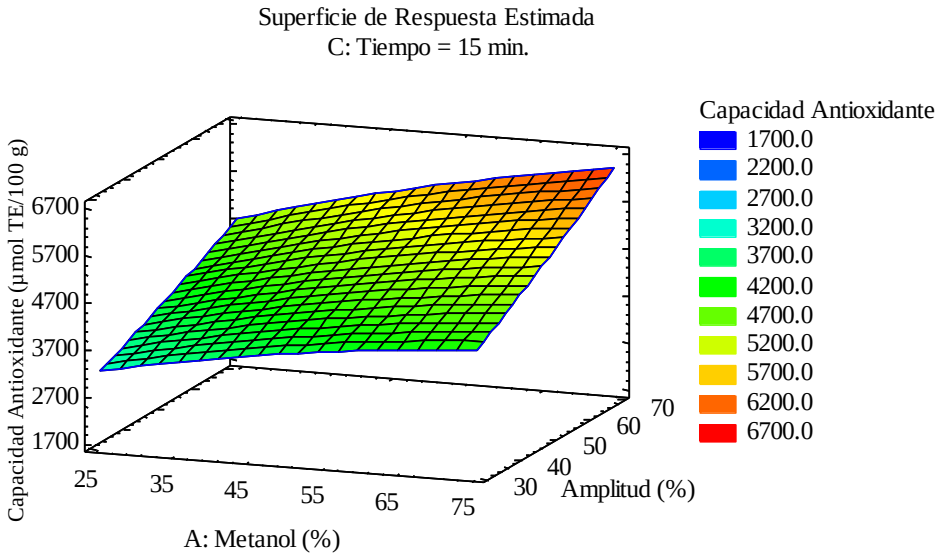
Superficie de respuesta del efecto de (A) metanol y (B) amplitud ultrasónica sobre el contenido de fenoles totales (mg GAE/100 g) a 15 min



La Figura 8 muestra la superficie de respuesta correspondiente al efecto del porcentaje de metanol (25–75 %) y la amplitud ultrasónica (30–70 %) sobre la capacidad antioxidante, manteniendo constante el tiempo de extracción en 15 min. De acuerdo con el modelo ajustado, la capacidad antioxidante presentó valores predichos entre aproximadamente 3200 y 6200 µmol equivalentes de Trolox/100 g dentro del dominio experimental evaluado. Las menores capacidades antioxidantes predichas se observaron en los niveles bajos de metanol y amplitud, mientras que las mayores respuestas se registraron en las combinaciones de niveles altos de ambos factores. La tendencia ascendente de la superficie concuerda con los efectos lineales positivos obtenidos en el análisis de regresión, evidenciando un incremento progresivo de la capacidad antioxidante conforme aumentaron el porcentaje de metanol y la amplitud ultrasónica.

Figura 8

Superficie de respuesta del efecto de metanol (A) y amplitud ultrasónica (B) sobre la capacidad antioxidante (µmol TE/100 g) a 15 min



3.3.3 Optimización Multi-respuesta y Validación

La Figura 9 muestra la optimización simultánea de antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante mediante la función de deseabilidad, manteniendo constante el tiempo de extracción en 15 min. De acuerdo con el modelo de optimización, la región óptima se ubicó aproximadamente en 57 % de metanol y 70 % de amplitud ultrasónica, donde la función de deseabilidad global alcanzó un valor cercano a 0.99, indicando condiciones óptimas para la maximización simultánea de las respuestas evaluadas. La superficie evidenció un incremento progresivo de la deseabilidad conforme aumentaron los niveles de metanol y amplitud ultrasónica, seguido de una zona de estabilización cercana al valor máximo de deseabilidad dentro del dominio experimental.

Figura 9

Optimización de múltiples respuestas mediante función de deseabilidad: región óptima operativa para maximización simultánea de antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante

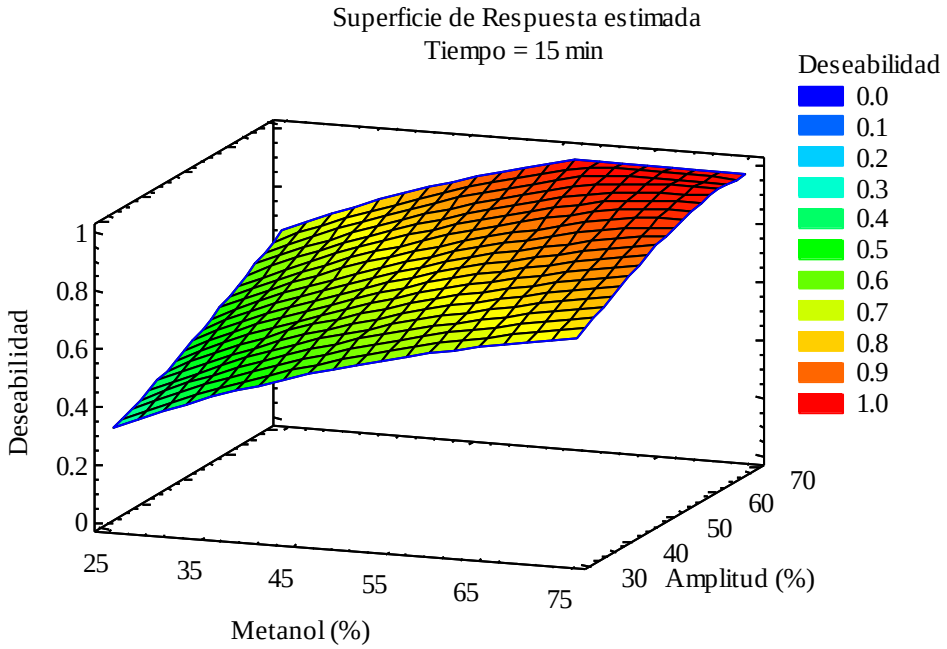
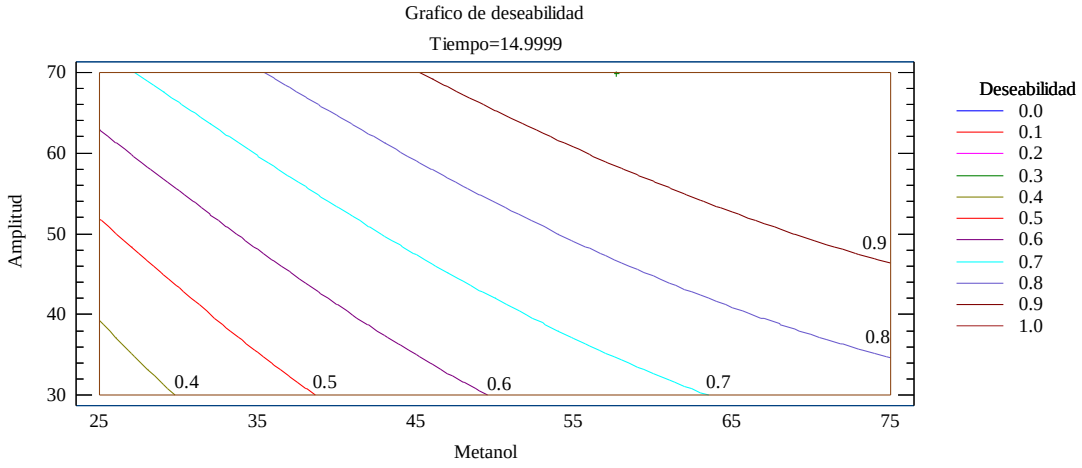


Figura 10

Gráfico de contorno bidimensional de la función de deseabilidad para la optimización de la extracción asistida por ultrasonido (EAU), en función de la concentración de metanol y la amplitud ultrasónica, manteniendo constante el tiempo de sonicación óptimo (15 min)



La Tabla 10 presenta la validación experimental de las condiciones óptimas predichas por el modelo de superficie de respuesta (57 % de metanol, 70 % de amplitud ultrasónica y 15 min de extracción). Los valores experimentales obtenidos fueron 120.71 mg C3G/L para antocianinas, 672.46 mg GAE/100 g para fenoles totales y 5857.31 µmol TE/100 g para capacidad antioxidante, mostrando buena concordancia con los valores predichos por el modelo. Los errores relativos fueron inferiores al 3 %, evidenciando una adecuada capacidad predictiva del modelo ajustado.

Tabla 10

Validación del modelo con condiciones óptimas de metanol (57%), amplitud (70%) y tiempo (15 min) de la extracción asistida por ultrasonidos (EAU)

Respuesta	Predicho	Experimental	Error (%)
Antocianinas (mg C3G/L)	122.79	120.71 ± 1.89	1.69
Fenoles totales (mg GAE/100 g)	675.65	672.46 ± 5.84	0.47
Capacidad antioxidante (µmol TE/100 g)	5981	5857.31 ± 60.20	2.07

3.4 Evaluación del contenido de antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante durante la maduración

La Tabla 11 muestra el contenido de antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante obtenidos bajo las condiciones óptimas de extracción asistida por ultrasonido en los tres estados de madurez del fruto. Se observaron diferencias significativas entre los estados de maduración (Tukey, $\alpha = 0.05$). El fruto maduro presentó los mayores valores de antocianinas (120.71 mg C3G/L), fenoles totales (672.46 mg GAE/100 g) y capacidad antioxidante (5857.55 µmol TE/100 g), mientras que el estado pintón registró los menores valores para fenoles totales y capacidad antioxidante.

Tabla 11

Antocianinas, fenoles totales y capacidad antioxidante obtenidos bajo condiciones óptimas de EAU (metanol:57%, amplitud: 70% y tiempo: 15 min) durante la maduración de C. tomentosum

Estado de madurez	Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/L)	Fenoles totales (mg GAE/100 g)	Capacidad antioxidante (µmol TE/100 g)
Verde (0)	0.00 ± 0.00 c	647.83 ± 3.55 b	5492.63 ± 54.30 b
Pintón (1)	46.01 ± 0.70 b	458.86 ± 5.66 c	3581.11 ± 39.80 c
Maduro (2)	120.71 ± 1.89 a	672.46 ± 5.84 a	5857.31 ± 60.20 a

Los valores son media ± SD (n = 3). Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$). GAE: equivalentes de ácido gálico.

IV. DISCUSIÓN

4.1 Caracterización biométrica, fisicoquímica y proximal del fruto de *Chondrodendron tomentosum*

4.1.1 Características biométricas y fisicoquímicas del fruto en tres estados de madurez

En la Tabla 6 se evidencia que el fruto presentó un incremento progresivo del diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso fresco durante la maduración, lo que sugiere un proceso activo de expansión celular y acumulación de sólidos solubles característico de drupas climatéricas. Este comportamiento ha sido descrito previamente en otras especies frutales tropicales y subtropicales durante el desarrollo fisiológico del fruto (Ivancic et al., 2022; Murcia-Galindo et al., 2021).

El contenido de vitamina C aumentó significativamente durante la maduración, alcanzando su mayor concentración en el estado maduro. Este comportamiento podría estar relacionado con cambios en el metabolismo respiratorio y con una menor actividad de la enzima ascorbato oxidasa (AO) durante las etapas avanzadas de maduración (Amr & Raie, 2022; Chatzopoulou et al., 2020). Resultados similares han sido reportados en diferentes frutos ricos en compuestos antioxidantes (Al Hasani et al., 2021; Ivanova et al., 2022).

El incremento de los sólidos solubles totales durante la maduración estaría asociado a la hidrólisis de polisacáridos y acumulación de azúcares simples, fenómeno típico en frutos climatéricos (Ivancic et al., 2022). Paralelamente, el descenso del pH durante el desarrollo fisiológico del fruto puede atribuirse a un incremento en la concentración de ácidos orgánicos (Mineață et al., 2024; Murcia-Galindo et al., 2021). Sin embargo, el aumento de la acidez titulable durante la maduración podría relacionarse con una mayor síntesis de ácidos tricarboxílicos, tal como ha sido descrito en algunas especies frutales (Murcia-Galindo et al., 2021). Como consecuencia, el índice de madurez disminuyó progresivamente debido a que el incremento de la acidez fue proporcionalmente mayor al aumento de sólidos solubles. Este comportamiento sugiere un patrón de maduración característico de la especie, diferente al observado en numerosas frutas de clima templado, pero consistente con especies tropicales de los géneros *Rubus* y *Vaccinium* (D'Agostino et al., 2022; Murcia-Galindo et al., 2021)

4.1.2 Caracterización proximal de frutos maduros

Los frutos maduros de *Chondrodendron tomentosum* presentaron un elevado contenido de humedad (90.45 ± 0.47 %), evidenciando su naturaleza altamente acuosa, característica común en diversas frutas tropicales y bayas pigmentadas (Martins et al., 2021; Nehring et al., 2022).

El contenido de cenizas (2.04 %) fue similar al reportado para *Haematocarpus validus* (2.12 g/100 g) por Sasikumar et al. (2021) . Este parámetro representa el contenido total de residuos minerales presentes en la muestra tras la incineración completa y constituye un indicador indirecto de su composición inorgánica y valor nutricional (Biswas et al., 2022; Chiteva et al., 2023)

El contenido proteico (1.70 g/100 g) fue comparable al reportado en cauchao (1.73 g/100 g) por Gomez-Perez et al. (2025), confirmando que este fruto no representa una fuente importante de proteínas, comportamiento frecuente en frutas frescas y bayas tropicales. En contraste, el contenido de fibra cruda (2.49 g/100 g) fue inferior al reportado para *Prunus jenkinsii* (3.43 ± 0.46 %; Ngurthankhumi et al., 2024). Las variaciones en el contenido de fibra entre frutos silvestres pueden atribuirse a diferencias genéticas, fisiológicas y estructurales propias de cada especie. Asimismo, el conocimiento de la composición fibrosa de estos frutos resulta relevante para orientar su aprovechamiento nutricional y su potencial aplicación en el desarrollo de productos alimentarios, incluyendo formulaciones dirigidas a la nutrición infantil (Ngurthankhumi et al., 2024).

Respecto al contenido de grasa, *C. tomentosum* presentó bajos niveles de grasa (0.05 ± 0.01 g/100 g), resultado consistente con lo reportado en otras frutas frescas como *Dovyalis caffra* (0.003 g/100 g) y *Syzygium cordatum* (0.34 g/100 g) (Sibiya et al., 2021).

Esta matriz, caracterizada por una elevada proporción de agua y bajo contenido lipídico contribuiría a reducir las interferencias apolares dentro de la matriz vegetal, favoreciendo la difusión de solventes hidroalcohólicos hacia vacuolas epidérmicas ricas en antocianinas y facilitando la recuperación de metabolitos hidrosolubles como compuestos fenólicos y antocianinas (Flor-Unda et al., 2024; Gomez-Perez et al., 2025).

Finalmente, el contenido de carbohidratos (3.01 %) fue inferior al reportado para *Syzygium cordatum* (5.62 g/100 g*) y Pappea capensis* (25 g/100 g) (Sibiya et al., 2021).

Los carbohidratos desempeñan un papel importante en las propiedades sensoriales y nutricionales de los frutos, influyendo en atributos como sabor, textura y valor energético (Rymbai et al., 2025).

4.2 Optimización de compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante mediante extracción asistida por ultrasonido

Los modelos cuadráticos obtenidos para las tres variables respuesta fueron estadísticamente significativos y presentaron elevados coeficientes de determinación, evidenciando un adecuado ajuste predictivo del modelo. Resultados similares han sido reportados en estudios de optimización de extracción asistida por ultrasonido en diferentes matrices vegetales (Drăghici-Popa et al., 2025; Fernández-Barbero et al., 2019; Vázquez-Espinosa et al., 2019). En general, las variables estudiadas mostraron una influencia positiva sobre la extracción de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante, observándose un incremento de las respuestas hacia las condiciones de mayor concentración de metanol y amplitud ultrasónica.

4.2.1 Ajuste ANOVA y Coeficientes de Regresión

Los efectos lineales de metanol (A), amplitud (B) y tiempo (C) fueron significativos para las tres respuestas ($p \leq 0.015$), lo que indica que el incremento de estos factores favoreció significativamente la extracción de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante, comportamiento similar al reportado en optimizaciones de EAU aplicadas a bayas (Drăghici-Popa et al., 2025; Fernández-Barbero et al., 2019; Kashyap et al., 2023). Los modelos cuadráticos ajustados fueron estadísticamente significativos ($p \leq 0.0037$), con coeficientes de determinación elevados: 97.62 % para antocianinas, 98.28 % para fenoles totales y 96.57 % para capacidad antioxidante. Asimismo, los residuos no presentaron autocorrelación significativa, según el estadístico de Durbin–Watson (1.16–2.64; $p > 0.05$). Los términos cuadráticos (A^2, B^2 y C^2) no fueron estadísticamente significativos ($p \geq 0.17$), lo que sugiere la ausencia de un óptimo interior dentro del dominio experimental y que los valores máximos se localizaron en los límites evaluados. Dos interacciones fueron relevantes: A×C incrementó las antocianinas ($p = 0.048$) y B×C aumentó la capacidad antioxidante ($p = 0.0319$), evidenciando una sinergia entre solvente-tiempo y amplitud-tiempo atribuible a los mecanismos de cavitación ultrasónica, donde mayores tiempos de sonicación potencian los efectos del solvente y de la energía

mecánica sobre la ruptura de la pared celular (Fernández-Barbero et al., 2019; Kashyap et al., 2023).

Los modelos de superficie de respuesta ajustados mediante funciones cuadráticas fueron estadísticamente significativos (p-modelo ≤ 0.0037). Sin embargo, los términos cuadráticos individuales (A^2, B^2 y C^2) no fueron significativos ($p \geq 0.17$), lo que sugiere la ausencia de un óptimo interior dentro del dominio experimental

4.2.2 Superficies de Respuesta

La superficie de antocianinas, que se muestra en la Figura 6, presenta un incremento ascendente que va de 60 mg C3G/L a 151 mg C3G/L, mostrando un gradiente de color que va desde azul (valores bajos) hasta rojo (valores altos). Este patrón indica que altos niveles de metanol favorecen la solubilización de antocianinas glicosiladas por medio de la disminución de la polaridad del medio, y que mayores amplitudes incrementan la cavitación acústica, favoreciendo la ruptura de vacuolas epidérmicas ricas en pigmentos (Drăghici-Popa et al., 2025; Fernández-Barbero et al., 2019).

Los fenoles totales (Figura 7) muestran superficie de 500 mg GAE/100 g a 670 mg GAE/100 g, evidenciando una contribución similar del metanol (coeficiente $\beta = 32.87$; $p = 0.006$) y la amplitud ($\beta = 32.30$; $p = 0.007$) sobre la recuperación de fenoles. Los contornos reflejan una influencia comparable entre el metanol y la amplitud sobre la recuperación fenólica. La región óptima está en la zona superior del espacio experimental (≥ 65 % de metanol, ≥ 60 % de amplitud), confirmando que no hay un máximo en el interior de la matriz. Mecanísticamente, el metanol facilita la ruptura de enlaces éster entre los fenólicos y los polisacáridos de la pared celular, y el ultrasonido acelera la transferencia de masa por micro-agitación localizada en las zonas de colapso de las burbujas de cavitación (De Sousa et al., 2021; Drăghici-Popa et al., 2025).

La superficie de la capacidad antioxidante (Figura 8) presenta contornos paralelos y sin curvatura acentuada, coherentes con la ausencia de términos cuadráticos significativos (Tabla 9; $p \geq 0.17$). Este comportamiento confirma efectos aditivos entre el metanol y la amplitud ultrasónica sobre la extracción de compuestos con capacidad reductora, evidenciado por el incremento progresivo de la actividad antioxidante medida mediante DPPH conforme aumentó la recuperación global de compuestos con capacidad reductora,

incluyendo compuestos fenólicos y antocianinas (Kashyap et al., 2023; Vázquez-Espinosa et al., 2019).

4.2.3 Optimización Multi-respuesta y Validación

La validación experimental (**Tabla 10**) confirma 120.71 ± 1.89 mg C3G/L, 672.46 ± 5.84 mg GAE/100 g y 5857.31 ± 60.20 µmol TE/100 g, con desviaciones de 1.69 %, 0.47 % y 2.07 % respecto a valores predichos, dentro del límite aceptable (< 5 %) para modelos de MSR (Kashyap et al., 2023).

4.3 Evaluación del contenido de antocianinas, fenoles y capacidad antioxidante durante la maduración

No se encontraron antocianinas monoméricas en frutos verdes; sin embargo, aumentaron significativamente durante la maduración, alcanzando 46.01 ± 0.70 mg C3G/L en el estado pintón y 120.71 ± 1.89 mg C3G/L en el estado maduro. Este comportamiento sugiere una intensificación progresiva del metabolismo fenilpropanoide durante la maduración, proceso asociado en frutos pigmentados con una mayor biosíntesis y acumulación vacuolar de antocianinas reportada previamente en otras especies vegetales (Bernal-Gallardo et al., 2021; Castro et al., 2022; Murcia-Galindo et al., 2021). Asimismo, los cambios estructurales de la pared celular propios de estados avanzados de madurez podrían haber favorecido la liberación de estos compuestos durante la extracción asistida por ultrasonido (Fernández-Barbero et al., 2019; González-De-Peredo et al., 2020).

Los fenoles totales mostraron un comportamiento no lineal durante la maduración. El estado pintón presentó el menor contenido (458.86 ± 5.66 mg GAE/100 g), mientras que el estado maduro registró el valor más alto (672.46 ± 5.84 mg GAE/100 g). La disminución observada en el estado pintón podría estar asociada a cambios fisiológicos propios de la transición entre crecimiento y maduración, incluyendo fenómenos de expansión celular, incremento del contenido hídrico y redistribución metabólica, procesos que pueden ocasionar una disminución temporal en la concentración relativa de compuestos fenólicos extractables (Liang et al., 2020). Asimismo, durante esta etapa ocurre una reorganización del metabolismo secundario orientada hacia la biosíntesis y acumulación de pigmentos y otros metabolitos bioactivos, proceso que puede modificar

significativamente el perfil fenólico del fruto durante la maduración (Kapoor et al., 2022; Shuai et al., 2021).

La capacidad antioxidante presentó una tendencia similar a la observada para los fenoles totales, siguiendo el orden: pintón < verde < maduro. El mayor valor registrado en frutos maduros (5857.55 ± 60.20 μmol TE/100 g) sugiere una contribución conjunta de diversos metabolitos reductores presentes en el extracto, incluyendo compuestos fenólicos, antocianinas y posiblemente ácido ascórbico (Prior et al., 2005; Shahidi & Zhong, 2015). Asimismo, el pH ácido del estado maduro (4.27 ± 0.02; Tabla 6) podría favorecer la estabilidad del catión flavilio, forma predominante de las antocianinas a pH < 5, contribuyendo a la estabilidad antioxidante del extracto (Bernal-Gallardo et al., 2021; Ivancic et al., 2022).

Es necesario precisar que tanto el contenido fenólico total determinado mediante el método de Folin–Ciocalteu como la capacidad antioxidante evaluada mediante el ensayo DPPH representan estimaciones de la actividad reductora global de los extractos y no mediciones específicas de una única clase de compuestos. El método de Folin–Ciocalteu se basa en una reacción de transferencia electrónica en la que diversos compuestos reductores presentes en la matriz vegetal pueden reaccionar con el reactivo, incluyendo no solo compuestos fenólicos, sino también ácido ascórbico, aminoácidos reductores y ciertos azúcares, lo que puede conducir a una sobreestimación del contenido fenólico total (Munteanu & Apetrei, 2021; Raposo et al., 2024; Sánchez-Rangel et al., 2013; Sun et al., 2019). De manera similar, el ensayo DPPH refleja la capacidad global de neutralización de radicales libres, sin distinguir la contribución individual de cada metabolito antioxidante. Por ello, la actividad antioxidante observada debe interpretarse como el resultado de la acción conjunta y posiblemente sinérgica de diversos compuestos bioactivos presentes en los extractos, entre ellos compuestos fenólicos, antocianinas y vitamina C (Prior et al., 2005; Shahidi & Zhong, 2015).

No obstante, es importante reconocer como limitación del presente estudio que la optimización de la extracción asistida por ultrasonido (EAU) fue realizada exclusivamente utilizando frutos en estado maduro; por tanto, las condiciones óptimas obtenidas fueron posteriormente aplicadas a los estados verde y pintón sin una optimización independiente para cada matriz vegetal. En consecuencia, las diferencias observadas en el rendimiento de extracción entre estados de madurez podrían estar

influenciadas no solo por variaciones en la biosíntesis de metabolitos, sino también por diferencias estructurales en la matriz celular y en la extractabilidad de los compuestos bioactivos.

En los estadios iniciales de maduración, las células del parénquima presentan una estructura uniforme, densa y en forma de panal, con paredes celulares gruesas y una laminilla media con alta integridad mecánica (Li et al., 2025; Rojas et al., 2021). Esta organización compacta, sostenida por redes de pectina, hemicelulosa y microfibrillas de celulosa, actúa como una barrera física que limita la difusión del solvente y la liberación de compuestos bioactivos. Por el contrario, durante la maduración ocurre la degradación progresiva de polisacáridos de la pared celular mediante la acción de enzimas como la poligalacturonasa (PG) y la pectina metilesterasa (PME), favoreciendo el incremento de espacios intercelulares y facilitando la liberación de compuestos bioactivos (Do Prado et al., 2016; Li et al., 2025). En este sentido, la eficiencia de la EAU depende tanto de la composición química del tejido vegetal como de la accesibilidad del solvente a los compartimentos celulares.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados de las características biométricas y fisicoquímicas de *C. tomentosum* mostraron un incremento progresivo de diámetros, pesos, solidos solubles, vitamina C y acidez titulable en función a su estado madurez. Este comportamiento estuvo acompañado de una disminución de pH e índice de madurez, estableciendo un patrón ontogénico característico de bayas tropicales donde la acidificación supera la acumulación de azúcares. En cuanto a la composición proximal del fruto maduro, este presentó cantidades moderadas de fibra (2.49 g/100 g) y proteína (1.70 g/100 g). En conjunto, estos resultados permiten establecer un perfil integral del fruto, evidenciando que su composición y características físicas están fuertemente influenciadas por el grado de madurez.

La extracción y cuantificación de compuestos antociánicos, fenólicos totales y la capacidad antioxidante del fruto de *Chondrodendron tomentosum* estuvieron significativamente influenciadas por las variables de proceso evaluadas (porcentaje de metanol, amplitud y tiempo). Los resultados del diseño Box-Behnken evidenciaron que el incremento de estas variables produjo un aumento en todas las respuestas analizadas.

La optimización de extracción asistida por ultrasonido mediante el uso de Box-Behnken permitió identificar condiciones óptimas (57 % de metanol, 70 % de amplitud y 15 min) que maximizaron simultáneamente fenoles totales (672.46 mg GAE/100 g), antocianinas (120.71 mg C3G/L) y capacidad antioxidante (5857.55 µmol TE/100 g) en frutos maduros, con precisión predictiva > 95 %.

Desde la primera hasta la última etapa de desarrollo del fruto, el contenido de antocianinas totales aumentó significativamente durante el proceso de maduración, alcanzando un valor máximo de 120.71 ± 1.89 mg cianidina-3-glucósido/L en el estado maduro. En fenoles totales (458.86 ± 5.66 mg GAE/100 g) y capacidad antioxidante (3581.11 ± 39.80 µmol TE/100 g), el estado pintón presentó el valor más bajo, mientras que el maduro mostró el más alto (672.46 ± 5.84 mg GAE/100 g 5857.55 ± 60.20 µmol TE/100 g).

Estos hallazgos observados durante este estudio pueden contribuir a la preservación de la uva de montaña, además se resalta la posible inclusión de estos frutos en diferentes sectores industriales, popularizándolos y promoviendo el aumento de su explotación comercial.

5.2 Recomendaciones

Desarrollar diseños de superficie de respuesta independientes para cada estado de madurez del fruto, con el fin de optimizar específicamente las condiciones de extracción asistida por ultrasonido según las características estructurales y composicionales de cada matriz vegetal.

Realizar la identificación de los compuestos bioactivos individuales, particularmente polifenoles y antocianinas, mediante técnicas analíticas avanzadas como la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) o la cromatografía líquida de ultra alta eficiencia (UHPLC).

Ampliar el estudio fitoquímico mediante la cuantificación e identificación de compuestos empleando un enfoque de análisis cromatográfico guiado. Para ello, se sugiere la utilización de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), orientada a la detección y caracterización de posibles alcaloides bioactivos presentes en el fruto.

Implementar un control riguroso de la temperatura durante la extracción asistida por ultrasonido debido a los incrementos térmicos generados por la cavitación acústica. Aunque es una técnica no térmica, estos aumentos pueden afectar compuestos bioactivos termolábiles, por lo que se debe monitorear continuamente el proceso. Asimismo, se sugiere el uso de estrategias de enfriamiento para preservar la estabilidad y funcionalidad de los metabolitos extraídos.

Se recomienda que futuras investigaciones realicen estudios complementarios de bioactividad e inocuidad del extracto optimizado de *Chondrodendron tomentosum*, con el fin de generar evidencia científica sobre su seguridad y funcionalidad, favoreciendo su potencial aplicación en alimentos funcionales y productos nutracéuticos.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achaglinkame, M. A., Aderibigbe, R. O., Hensel, O., Sturm, B., & Korese, J. K. (2019). Nutritional Characteristics of Four Underutilized Edible Wild Fruits of Dietary Interest in Ghana. *Foods*, *8*(3), 104. https://doi.org/10.3390/foods8030104

Al Hasani, S., Al-Attabi, Z. H., Waly, M., Rahman, M. S., & Tamimi, Y. (2021). Antioxidant and Antitumor Properties of Wild Blueberry (Sideroxylon mascatense): Effects of drying methods. *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases*, *11*(1), 71–79. https://doi.org/10.4103/ijnpnd.ijnpnd_76_20

Alvarez-Parrilla, E., De La Rosa, L. A., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (2011). Antioxidant Activity of Fresh and Processed Jalapeño and Serrano Peppers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(1), 163–173. https://doi.org/10.1021/jf103434u

Amr, A., & Raie, W. Y. (2022). Tomato Components and Quality Parameters. A Review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, *18*(3), 199–220. https://doi.org/10.35516/jjas.v18i3.444

AOAC INTERNATIONAL. (2019). *Official Method 930.09: Fat* (21st ed., p. 24). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL.

AOAC INTERNATIONAL. (2019). *Official Method 954.01: Crude Protein* (21st ed., p. 24). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL.

AOAC INTERNATIONAL. (2019). *Official Method 967.21: Vitamin C* (21st ed., pp. 21–22). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL.

Athanasiadis, V., Chatzimitakos, T., Mantiniotou, M., Kalompatsios, D., Kotsou, K., Makrygiannis, I., Bozinou, E., & Lalas, S. I. (2024). Optimization of Four Different Rosemary Extraction Techniques Using Plackett–Burman Design and Comparison of Their Antioxidant Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(14), 7708. https://doi.org/10.3390/ijms25147708

Beech, E. (2023). *Chondrodendron tomentosum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2023:E. T224621776A224621778. https://www.iucnredlist.org/es/species/224621776/224621778

Bernal-Gallardo, J. O., Molina-Torres, J., Angoa-Pérez, M. V., Cárdenas-Valdovinos, J. G., García-Ruíz, I., Ceja-Díaz, J. A., & Mena-Violante, H. G. (2021). Phenolic Compound Content and the Antioxidant and Antimicrobial Activity of Wild Blueberries (Vaccinium stenophyllum Steud.) Fruits Extracts during Ripening. *Horticulturae*, *8*(1), 15. https://doi.org/10.3390/horticulturae8010015

Bhadange, Y. A., Carpenter, J., & Saharan, V. K. (2024). A Comprehensive Review on Advanced Extraction Techniques for Retrieving Bioactive Components from Natural Sources. *ACS Omega*, *9*(29), 31274–31297. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02718

Biswas, S. C., Kumar, P., Kumar, R., Das, S., Misra, T. K., & Dey, D. (2022). Nutritional Composition and Antioxidant Properties of the Wild Edible Fruits of Tripura, Northeast India. *Sustainability*, *14*(19), 12194. https://doi.org/10.3390/su141912194

Bozdoğan, N., Yıldız, E., Tunç, Y., Khadivi, A., Yaman, M., Sümbül, A., Yılmaz, K. U., Ateş, U., & Öztürk, B. (2025). Morphological, biochemical, and molecular characterizations of rosehip (Rosa canina L.) genotypes naturally grown in the Eastern Central Anatolia region of Türkiye. *Scientia Horticulturae*, *350*, 114375. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114375

Carpentieri, S., Soltanipour, F., Ferrari, G., Pataro, G., & Donsì, F. (2021). Emerging Green Techniques for the Extraction of Antioxidants from Agri-Food By-Products as Promising Ingredients for the Food Industry. *Antioxidants*, *10*(9), 1417. https://doi.org/10.3390/antiox10091417

Castro, R. I., Vásquez-Rojas, C., Cortiella, M. G. I., Parra-Palma, C., Ramos, P., & Morales-Quintana, L. (2022). Evolution of the Volatile Organic Compounds, Phenols and Antioxidant Capacity during Fruit Ripening and Development of Rubus ulmifolius Schott Fruits. *Horticulturae*, *9*(1), 13. https://doi.org/10.3390/horticulturae9010013

Chatzopoulou, F., Sanmartin, M., Mellidou, I., Pateraki, I., Koukounaras, A., Tanou, G., Kalamaki, M. S., Veljović-Jovanović, S., Antić, T. C., Kostas, S., Tsouvaltzis, P., Grumet, R., & Kanellis, A. K. (2020). Silencing of ascorbate oxidase results in reduced growth, altered ascorbic acid levels and ripening pattern in melon fruit. *Plant Physiology and Biochemistry*, *156*, 291–303. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.040

Chiteva, R., Onyari, J. M., Njenga, L. W., & Madadi, V. O. (2023). Physicochemical and nutritional properties of Syzygium cumini (L.) skeels fruits grown in varied microclimates in Kenya. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, *17*(1), 1–9. https://doi.org/10.5897/AJPAC2022.0896

Christou, A., Stavrou, I. J., & Kapnissi-Christodoulou, C. P. (2021). Continuous and pulsed ultrasound-assisted extraction of carob's antioxidants: Processing parameters optimization and identification of polyphenolic composition. *Ultrasonics Sonochemistry*, *76*, 105630. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105630

D'Agostino, M. F., Sicari, V., Giuffrè, A. M., & Soria, A. C. (2022). Blackberries (Rubus ulmifolius Schott) from Calabria (Italy): a comprehensive characterisation. *European Food Research and Technology*, *248*(3), 905–916. https://doi.org/10.1007/s00217-021-03922-8

De Sousa, L. B., Alves Filho, E. G., Fernandes, F. A. N., Sousa de Brito, E., & Da Silva Júnior, I. J. (2021). Optimization of pressurized liquid extraction and ultrasound methods for recovery of anthocyanins present in jambolan fruit (Syzygium cumini L.). *Food and Bioproducts Processing*, *127*, 77–89. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.02.012

Do Prado, S. B. R., Melfi, P. R., Castro-Alves, V. C., Broetto, S. G., Araújo, E. S., Do Nascimento, J. R. O., & Fabi, J. P. (2016). Physiological degradation of pectin in papaya cell walls: Release of long chains galacturonans derived from insoluble fractions during postharvest fruit ripening. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1120. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01120

Drăghici-Popa, A. M., Pârvulescu, O. C., Stan, R., & Brezoiu, A. M. (2025). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Romanian Blackthorn (Prunus spinosa L.) Fruits. *Antioxidants*, *14*(6), 680. https://doi.org/10.3390/antiox14060680

Feng, C., Su, S., Wang, L., Wu, J., Tang, Z., Xu, Y., Shu, Q., & Wang, L. (2016). Antioxidant capacities and anthocyanin characteristics of the black–red wild berries obtained in Northeast China. *Food Chemistry*, *204*, 150–158. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.122

Fernández-Barbero, G., Pinedo, C., Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Carrera, C., Palma, M., & García-Barroso, C. (2019). Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from jabuticaba (Myrciaria cauliflora) fruit through a Box-Behnken experimental design. *Food Science and Technology*, *39*(4), 1018–1029. https://doi.org/10.1590/fst.16918

Flor-Unda, O., Guanochanga, F., Samaniego, I., Arias, V., Ortiz, B., Rosales, C., & Palacios-Cabrera, H. (2024). Physicochemical Characterization and Antioxidant Capacity of Açaí (Euterpe oleracea) in Ecuadorian Region. *Foods*, *13*(19), 3046. https://doi.org/10.3390/foods13193046

Geow, C. H., Tan, M. C., Yeap, S. P., & Chin, N. L. (2021). A Review on Extraction Techniques and Its Future Applications in Industry. *European Journal of Lipid Science and Technology, 123*(4), 2000302. https://doi.org/10.1002/ejlt.202000302

Gomez-Perez, L. S., Poblete, J., García, V., & Vidal, R. L. (2025). Cauchao Berry (Amomyrtus luma) as a Promising Source of Bioactive Compounds: Optimized Extraction, Phytochemical Characterization, and Assessment of Antioxidant and Antidiabetic Potential. *International Journal of Molecular Sciences 2025, Vol. 26, 26*(17), 8391. https://doi.org/10.3390/ijms26178391

González de Peredo, A. V, Vázquez-Espinosa, M., Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Amores-Arrocha, A., Palma, M., Barbero, G. F., & Jiménez-Cantizano, A. (2019). Alternative Ultrasound-Assisted Method for the Extraction of the Bioactive

Compounds Present in Myrtle (Myrtus communis L.). *Molecules*, *24*(5), 882. https://doi.org/10.3390/molecules24050882

González-De-Peredo, A. V, Vázquez-Espinosa, M., Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Carrera, C., Palma, M., Álvarez, J. Á., Barbero, G. F., & Ayuso, J. (2020). Optimization of Analytical Ultrasound-Assisted Methods for the Extraction of Total Phenolic Compounds and Anthocyanins from Sloes (Prunus spinosa L.). *Agronomy*, *10*(7), 966. https://doi.org/10.3390/agronomy10070966

Instituto de Salud Pública. (2021). *Curare, Pareira*.

Ivancic, T., Jakopic, J., Veberic, R., Vesel, V., & Hudina, M. (2022). Effect of Ripening on the Phenolic and Sugar Contents in the Meso- and Epicarp of Olive Fruits (Olea europaea L.) Cultivar 'Leccino.' *Agriculture*, *12*(9), 1347. https://doi.org/10.3390/agriculture12091347

Ivanova, I., Serdyuk, M., Malkina, V., Tymoshchuk, T., Vorovka, M., Mrynskyi, I., & Adamovych, A. (2022). Studies of the impact of environmental conditions and varietal features of sweet cherry on the accumulation of vitamin C in fruits by using the regression analysis method. *Acta Agriculturae Slovenica*, *118*(2), 1–12. https://doi.org/10.14720/aas.2022.118.2.2404

Kapoor, L., Simkin, A. J., George Priya Doss, C., & Siva, R. (2022). Fruit ripening: dynamics and integrated analysis of carotenoids and anthocyanins. *BMC Plant Biology*, *22*(1), 1–22. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03411-w

Kashyap, P., Riar, C. S., & Jindal, N. (2023). Polyphenol bio-accessibility and antioxidant activity of in vitro digested ultrasound-assisted Meghalayan cherry (Prunus nepalensis) pomace extract. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *13*(15), 14071–14085. https://doi.org/10.1007/s13399-021-02150-0

Latimer, G. W. (2023). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (22nd ed.). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/9780197610145.002.001

Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines

by the pH Differential Method: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, *88*(5), 1269–1278. https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269

Li, X., Tang, W., Sun, J., He, Y., Chen, G., Shan, C., & Lai, F. (2025). Optimizing plum drying: influence of ripening stages on cell wall composition, water status, drying characteristics, and phenolic profiles. *Food Production, Processing and Nutrition*, *7*(35), 11. https://doi.org/10.1186/s43014-025-00313-4

Liang, D., Deng, H., Deng, Q., Lin, L., Lv, X., Wang, J., Wang, Z., Xiong, B., Zhao, X., & Xia, H. (2020). Dynamic Changes of Phenolic Compounds and Their Associated Gene Expression Profiles Occurring during Fruit Development and Ripening of the Donghong Kiwifruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68*(41), 11421–11433. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04438

Martins, M. C., Lima, E. M. F., Benincá, D. B., Saraiva, S. H., Viera de Carvalho, R., & Silva, P. I. (2021). Extraction of bioactive compounds from juçara pulp (Euterpe edulis M.) is affected by ultrasonic power and temperature. *Ciência e Agrotecnologia*, *45*, 1–11. https://doi.org/10.1590/1413-7054202145024820

Mineață, I., Murariu, O. C., Sîrbu, S., Tallarita, A. V., Caruso, G., & Jităreanu, C. D. (2024). Effects of Ripening Phase and Cultivar under Sustainable Management on Fruit Quality and Antioxidants of Sweet Cherry. *Horticulturae*, *10*(7), 720. https://doi.org/10.3390/horticulturae10070720

Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(7), 3380. https://doi.org/10.3390/ijms22073380

Murcia-Galindo, Á.-P., Ruiz-Berrío, H. D., & Balaguera-López, H. E. (2021). Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto de agraz (Vaccinium meridionale Swartz) bajo condiciones de clima frío. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *19*(2), 135–146. https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1613

Nasiripourdori, A., Taly, V., Grutter, T., & Taly, A. (2011). From Toxins Targeting Ligand Gated Ion Channels to Therapeutic Molecules. *Toxins*, *3*(3), 260–293. https://doi.org/10.3390/toxins3030260

Nehring, P., Seraglio, S. K. T., Schulz, M., Della Betta, F., Gonzaga, L. V., Vitali, L., da Silva, M., Amadeu Micke, G., Oliveira Costa, A. C., & Fett, R. (2022). Grumixama (Eugenia brasiliensis Lamarck) functional phytochemicals: Effect of environmental conditions and ripening process. *Food Research International*, *157*, 111460. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111460

Ngurthankhumi, R., Hazarika, T. K., Zothansiama, & Lalruatsangi, E. (2024). Nutritional composition and anti-nutritional properties of wild edible fruits of northeast India. *Journal of Agriculture and Food Research*, *16*, 101221. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101221

Norma Técnica Peruana. (2011). *Norma Técnica Peruana 205.003: Cereales y Legumbres. Determinación de fibra cruda* (1st ed., pp. 1–5). Instituto Nacional de la Calidad.

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(10), 4290–4302. https://doi.org/10.1021/jf0502698

Pyrzynska, K., & Pękal, A. (2013). Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. *Analytical Methods*, *5*(17), 4288–4295. https://doi.org/10.1039/C3AY40367J

Randall, M. C., & Feldman, R. (2025). Neuromuscular junction toxins. *Disease-a-Month*, *71*(8), 101972. https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2025.101972

Raposo, F., Borja, R., & Gutiérrez-González, J. A. (2024). A comprehensive and critical review of the unstandardized Folin-Ciocalteu assay to determine the total content of polyphenols: The conundrum of the experimental factors and method validation. *Talanta*, *272*, 125771. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125771

Razola-Díaz, M. del C., Aznar-Ramos, M. J., Guerra-Hernández, E. J., García-Villanova, B., Gómez-Caravaca, A. M., & Verardo, V. (2022). Establishment of a Sonotrode Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Apple Pomace. *Foods*, *11*(23), 3809. https://doi.org/10.3390/foods11233809

Rojas, M. L., Kubo, M. T. K., Caetano-Silva, M. E., & Augusto, P. E. D. (2021). Ultrasound processing of fruits and vegetables, structural modification and impact on nutrient and bioactive compounds: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, *56*(9), 4376–4395. https://doi.org/10.1111/ijfs.15113

Rymbai, H., Ercisli, S., Sulusoglu Durul, M., Kilicgun, H., Bayyigit, I., & Colak, A. M. (2025). Fruit Biochemical, Bioactive and Antioxidant Characteristics of Prunus nepalensis. *Applied Fruit Science*, *67*(3), 127. https://doi.org/10.1007/s10341-025-01371-1

Rymbai, H., Mawlein, J., Verma, V. K., Dutta, S. K., Hazarika, S., Ercisli, S., Mishra, V. K., & Durul, M. S. (2024). Maturity stages modulate fruit quality, bioactive constituents, and antioxidant activity of Prunus jenkinsii. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *71*(4), 1541–1555. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01718-1

Sánchez-Rangel, J. C., Benavides, J., Heredia, J. B., Cisneros-Zevallos, L., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2013). The Folin-Ciocalteu assay revisited: Improvement of its specificity for total phenolic content determination. *Analytical Methods*, *5*(21), 5990–5999. https://doi.org/10.1039/c3ay41125g

Santos, J., Damiani, C., da Cunha, M. C., Nunes Carvalho, E. E., & de Barros Vilas Boas, E. V. (2019). Volatile profiling of pitanga fruit (Eugenia uniflora L.) at different ripening stages using solid-phase microextraction and mass spectrometry coupled with gas chromatography. *Scientia Horticulturae*, *250*, 366–370. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.076

Sasikumar, R., Vivek, K., Chakkaravarthi, S., & Deka, S. C. (2021). Physicochemical Characterization and Mass Modeling of Blood Fruit (Haematocarpus Validus)–An Underutilized Fruit of Northeastern India. *International Journal of Fruit Science*, *21*(1), 12–25. https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1848752

Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, *18*, 757–781. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047

Shuai, L., Liu, H., Liao, L., Lai, T., Lai, Z., Du, X., Duan, Z., Wu, Z., & Luo, T. (2021). Widely targeted metabolic analysis revealed the changed pigmentation and bioactive compounds in the ripening Berchemia floribunda (Wall.) Brongn. fruit. *Food Science and Nutrition*, *9*(3), 1375–1387. https://doi.org/10.1002/fsn3.2093

Sibiya, N. P., Kayitesi, E., & Moteetee, A. N. (2021). Proximate Analyses and Amino Acid Composition of Selected Wild Indigenous Fruits of Southern Africa. *Plants*, *10*(4), 721. https://doi.org/10.3390/plants10040721

Sun, Z., Zhang, Y., Xu, X., Wang, M., & Kou, L. (2019). Determination of the total phenolic content in wine samples using potentiometric method based on permanganate ion as an indicator. *Molecules*, *24*(18), 3279. https://doi.org/10.3390/molecules24183279

Uma, E., Yhasasuwini, S., & Ponmurugan, K. (2023). Nutritional evaluation of Chrysophyllum oliviforme L. (Sapotaceae) an underutilized exotic fruit. *Journal of Applied and Natural Science*, *15*(2), 447–453. https://doi.org/10.31018/jans.v15i2.3674

Vázquez-Espinosa, M., González-De-Peredo, A. V., Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Toledo-Domínguez, J. J., Carrera, C., Palma, M., & Barbero, G. F. (2019). Ultrasound-Assisted Extraction of Two Types of Antioxidant Compounds (TPC and TA) from Black Chokeberry (Aronia melanocarpa L.): Optimization of the Individual and Simultaneous Extraction Methods. *Agronomy*, *9*(8), 456. https://doi.org/10.3390/agronomy9080456

Vega-Galvez, A., Rodríguez, A., & Stucken, K. (2021). Antioxidant, functional properties and health-promoting potential of native South American berries: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(2), 364–378. https://doi.org/10.1002/jsfa.10621

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el arquitecto de mi vida, por brindarme fortaleza, paciencia y sabiduría para afrontar cada desafío, y por guiar mis pasos hasta alcanzar este momento tan significativo de mi formación profesional.

A mi familia, y de manera especial a mi madre, por ser quien me motiva y porque siempre está conmigo brindándome su amor y apoyo incondicional para verme triunfar en mis metas.

A mis asesores de tesis, el Dr. Ralph Rivera Botonares y el Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce, que con paciencia dedicaron su tiempo e impartieron sus conocimientos, experiencias y me guiaron en este mundo de la investigación.

Al Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa, por facilitar sus instalaciones, materiales y equipos requeridos para el desarrollo de la fase experimental de este estudio.

A los investigadores de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Dr. Segundo Chávez Quintana y Dra. Laydy Mena Chacón, por sus valiosos aportes técnicos y especializados, que contribuyeron significativamente al fortalecimiento metodológico y analítico de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Jaén, a través de PROINTEC 2023 (Proyectos de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico), por el financiamiento otorgado, el cual permitió la realización de este proyecto.

A Fiorela Castillo, compañera de viaje en esta travesía académica, por su amistad, apoyo y compañía durante cada desafío y aprendizaje compartido a lo largo de este camino.

Asimismo, a Manuel Bravo, por su apoyo constante, confianza, amor, comprensión y motivación, especialmente en los momentos más desafiantes de esta etapa.

Por siempre agradecida con cada uno de ustedes.

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico este trabajo a mi madre, Valvina Huaman, por su amor inagotable, su apoyo constante y por ser la luz que ha guiado cada paso de mi vida. Gracias por ser mi mayor fuente de fortaleza y motivación para alcanzar mis metas.

Asimismo, a mis hermanos, por su compañía permanente, su cariño y por el aliento constante que me impulsó a seguir adelante con determinación en el desarrollo de esta investigación.

ANEXOS

Anexo 1. Ejemplares de *Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pav. depositados en el Herbario ISV



Anexo 2. Constancia de determinación botánica N°05-2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Jaén, 29 de agosto de 2024.

Herbario ISV

ICNDMB Código de Autorización N° AUT-ICND-2023-004

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA N°05-2024

Por medio de la presente se da constancia de la identificación de 03 muestras botánicas, a solicitud de Disbexy Guisela Huaman Huaman, tesista de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén, en el marco del proyecto de investigación titulado *"Evaluación de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del fruto silvestre Chondrodendron tomentosum obtenidos en diferentes condiciones de extracción asistida por ultrasonido"*. Las colectas fueron identificadas y depositadas en la colección del Herbario ISV de la Universidad Nacional de Jaén.

Las identificaciones corresponden:

DUP	CÓDIGO	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO
3	DH-01	MENISPERMACEAE	*Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pav.

Atentamente,

HERBARIO ISV

Dr. José Luis Marcelo Peña
Responsable del Laboratorio de Plantas Vasculares y
Herbario ISV
Universidad Nacional de Jaén

Herbario ISV (Isidoro Sánchez Vega)
Universidad Nacional de Jaén
Carretera Jaén-San Ignacio Km 24
herbario@unj.edu.pe

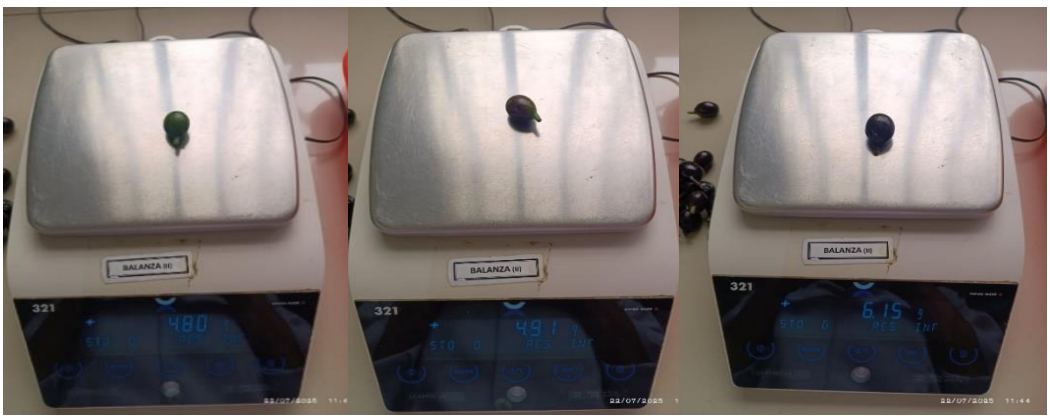
Anexo 3. Recoleccion de frutos de *Chondrodendron tomentosum* en estados de madurez verde, pintón y maduro en el caserío Villa Rica.



Anexo 4. Caracterización biométrica de *C. tomentosum* en tres estados de maduración.



A



B

Nota: (A) Determinación del diámetro polar de frutos de *Chondrodendron tomentosum* en estados de madurez verde, pintón y maduro. (B) Determinación del peso fresco de los frutos en tres estados de madurez.

Anexo 5. Informe de ensayos del contenido de vitamica C en el fruto verde.

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

INFORME DE ENSAYOS
Nº 004402-2023

SOLICITANTE	: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**
DIRECCIÓN LEGAL	: CAR.JAEN - SAN IGNACIO KM. 24 SEC. YANAYACU CAJAMARCA - JAEN - JAEN RUC : **20487463737** Teléfono : 941941957
PRODUCTO	: **Fruta: Chondrodendron tomentosum**
NUMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA	: Verde
CANTIDAD RECIBIDA	: 650,4 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada, a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIOS	: S/S N°EN- 003353 -2023
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 31/10/2023
ENSAYOS SOLICITADOS	: **FÍSICO / QUÍMICO**
PERIODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
1 - Vitamina C (mg/100 g de muestra original)	5,1	5,11	5,11	5,13	5,13

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
1 - AOAC 967.21 Cap. 45, Pág. 21-22, 21st Edition 2019

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 31/10/2023 Al 15/11/2023.

ADVERTENCIA:
1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
2.- Se prohibe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 15 de Noviembre de 2023

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Dirección Técnica

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
la molina calidad total

Anexo 6. Informe de ensayos del contenido de vitamica C en el fruto pinton.

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

INFORME DE ENSAYOS
Nº 004401-2023

SOLICITANTE	: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**
DIRECCIÓN LEGAL	: CAR.JAEN - SAN IGNACIO KM. 24 SEC. YANAYACU CAJAMARCA - JAEN - JAEN RUC : **20487463737** Teléfono : 941941957
PRODUCTO	: **Fruta: Chondrodendron tomentosum**
NUMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA	: Pintón
CANTIDAD RECIBIDA	: 718 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada, a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIOS	: S/S NºEN- 003353 -2023
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 31/10/2023
ENSAYOS SOLICITADOS	: **FÍSICO / QUÍMICO**
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
1 - Vitamina C (mg/100 g de muestra original)	4,8	4,79	4,79	4,77	4,77

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
1 - AOAC 967.21 Cap. 45, Pág. 21-22, 21st Edition 2019

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 31/10/2023 Al 15/11/2023.

ADVERTENCIA:
1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
2.- Se prohibe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 15 de Noviembre de 2023

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Dirección Técnica
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
la molina calidad total

Anexo 7. Informe de ensayos del contenido de vitamica C en el fruto maduro.

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

INFORME DE ENSAYOS
Nº 004403-2023

SOLICITANTE	: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**
DIRECCIÓN LEGAL	: CAR.JAEN - SAN IGNACIO KM. 24 SEC. YANAYACU CAJAMARCA - JAEN - JAEN RUC : **20487463737** Teléfono : 941941957
PRODUCTO	: **Fruta: Chondrodendron tomentosum**
NUMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA	: Maduro
CANTIDAD RECIBIDA	: 299,9 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada, a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIOS	: S/S NºEN- 003353 -2023
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 31/10/2023
ENSAYOS SOLICITADOS	: **FÍSICO / QUÍMICO**
PERIODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:

ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
1 - Vitamina C (mg/100 g de muestra original)	10,2	10,23	10,23	10,21	10,21

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
1 - AOAC 967.21 Cap. 45, Pág. 21-22, 21st Edition 2019

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 31/10/2023 Al 15/11/2023.

ADVERTENCIA:
1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
2.- Se prohibe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 15 de Noviembre de 2023

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - N° 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
la molina calidad total

Anexo 8. Caracterización fisicoquímica los frutos de *C. tomentosum* en estado verde, pintón y maduro.



A



B

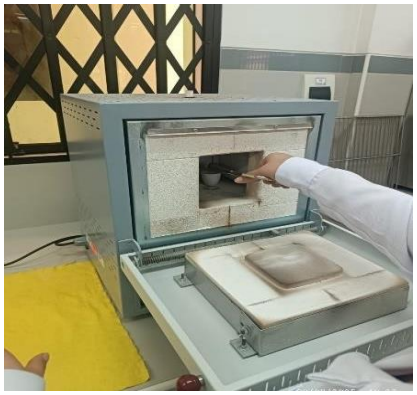
Nota: (A) Medición del pH usando el método potenciométrico. (B) Determinación de la acidez titulable mediante titulometría.

Anexo 9. Caracterización proximal del fruto maduro de *Chondrodendron tomentosum.*





A





B

Nota: (A) Determinación de la humedad mediante el método de gravimetría. (B) Determinación de cenizas por incineración en un horno de mufla.

Anexo 10. Informe de ensayos de fibra, proteína y grasa del fruto maduro.

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos

INFORME DE ENSAYOS
Nº 004407-2023

SOLICITANTE	: **UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**
DIRECCIÓN LEGAL	: CAR.JAEN - SAN IGNACIO KM. 24 SEC. YANAYACU CAJAMARCA - JAEN - JAEN RUC : **20487463737** Teléfono : 941941957
PRODUCTO	: **Fruta: Chondrodendron tomentosum**
NUMERO DE MUESTRAS	: Uno
IDENTIFICACIÓN/MTRA	: Maduro
CANTIDAD RECIBIDA	: 333,7 g (+envase) de muestra proporcionada por el solicitante.
MARCA(S)	: S.M.
FORMA DE PRESENTACIÓN	: Envasado, la muestra ingresa en bolsa sellada, a temperatura ambiente.
SOLICITUD DE SERVICIOS	: S/S NºEN- 003358 -2023
REFERENCIA	: ACEPTACION TELEFONICA
FECHA DE RECEPCIÓN	: 31/10/2023
ENSAYOS SOLICITADOS	: **FÍSICO / QUÍMICO**
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica

RESULTADOS:

ENSAYOS FÍSICOS / QUÍMICOS:
ALCANCE: N.A.

ENSAYOS	PROMEDIO	RESULTADO 1	RESULTADO 2	RESULTADO 3	RESULTADO 4
1 - Fibra Cruda (g/100 g de muestra original)	2,5	2,48	2,50	2,49	2,51
2 - Proteína Cruda (g/100 g de muestra original) (Factor: 6.25)	1,7	1,72	1,70	1,69	1,71
3 - Grasa (g/100 g de muestra original)	0,1	0,05	0,05	0,06	0,06

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
1 - NTP 205.003:1980 (Revisada el 2011)
2 - AOAC 954.01 Cap. 4, Pág. 24, 21st Edition 2019
3 - AOAC 930.09 Cap. 3, Pág. 24, 21st Edition 2019

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 31/10/2023 Al 15/11/2023.

ADVERTENCIA:
1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
2.- Se prohibe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.

La Molina, 15 de Noviembre de 2023

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Dirección Técnica

LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS - UNALM
Biol. Lourdes Margarita Barco Saldaña
Directora Técnica (e)
CBP - Nº 01232

Pág. 1/1

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú
Cel.: 998376789 - 998373909 - 926694322
E-mail: lmctl.ventas.servicios@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal
la molina calidad total

Anexo 11. Extracción de compuestos bioactivos del fruto silvestre de *C. tomentosum.*



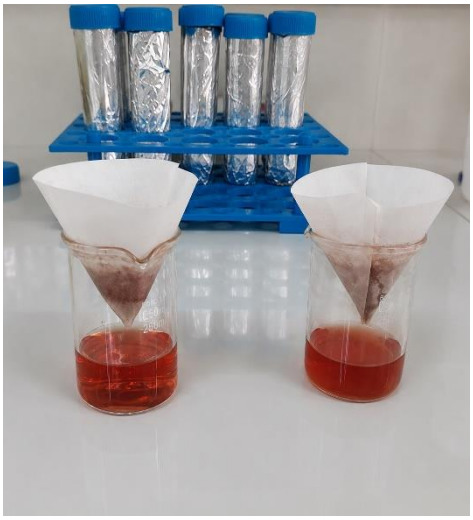
A



B



C

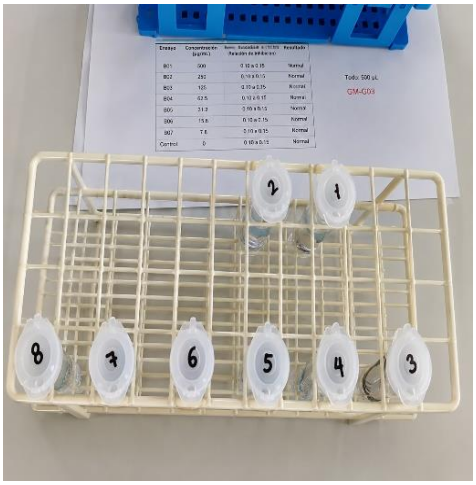


D

Nota: (A) Pasta de frutos de *C. tomentosum.* (B) Extracción mediante el homogenizador ultrasónico. (C) Muestras en centrífuga refrigerada. (D) Filtrado del sobrenadante.

Anexo 12. Procedimiento experimental para la determinación de la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH.


A


B

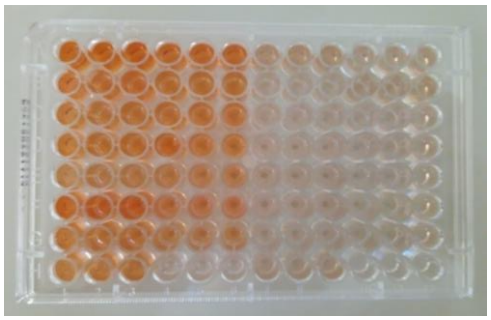

C



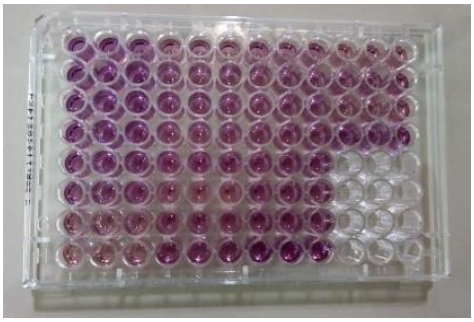
D

Nota: (A) Preparación del reactivo DPPH y homogeneización mediante agitación magnética. (B) Soluciones estándar en concentraciones crecientes utilizadas para la construcción de la curva de calibración. (C) Preparación de la microplaca con soluciones estándar y extractos previo a la lectura en el lector multimodal. (D) Lectura de la microplaca en el lector multimodal para la determinación espectrofotométrica de las muestras.

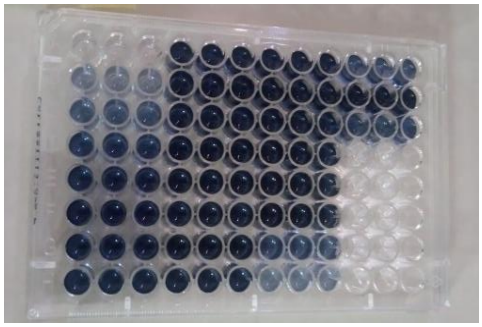
Anexo 13. Reacciones colorimétricas observadas en los ensayos de compuestos antociánicos, fenólicos y capacidad antioxidante.



A



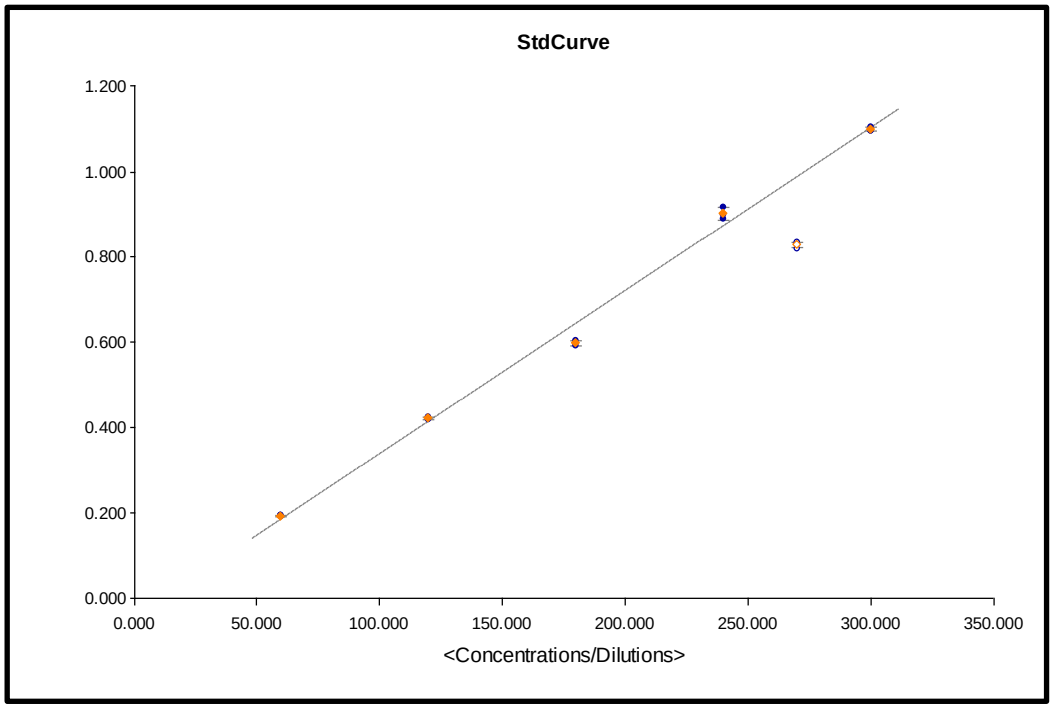
B



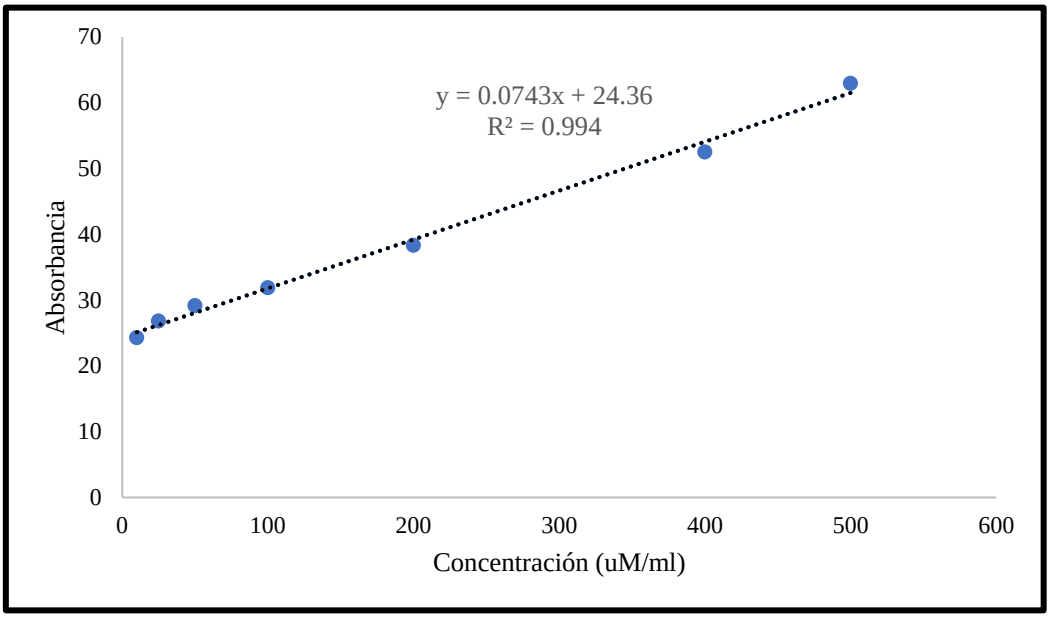
C

Nota: (A) Determinación de antocianinas por el método de pH diferencial. (B) Ensayo de fenoles totales mediante el reactivo Folin-Ciocalteu. (C) Evaluación de la capacidad antioxidante mediante el ensayo DPPH.

Anexo 14. Curva de calibración para la cuantificación de fenoles totales en fruto maduro.



Anexo 15. Curva de calibración para capacidad antioxidante (DPPH).



Anexo 16. Análisis de varianza para antocianinas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	7802.72	866.97	22.82	0.002
Lineal	3	7294.95	2431.65	64.01	0.000
Metanol	1	3744.63	3744.63	98.56	0.000
Amplitud	1	494.46	494.46	13.01	0.015
Tiempo	1	3055.86	3055.86	80.44	0.000
Cuadrado	3	155.44	51.81	1.36	0.354
Metanol*Metanol	1	66.15	66.15	1.74	0.244
Amplitud*Amplitud	1	60.56	60.56	1.59	0.262
Tiempo*Tiempo	1	17.76	17.76	0.47	0.525
Interacción de 2 factores	3	352.33	117.44	3.09	0.128
Metanol*Amplitud	1	13.79	13.79	0.36	0.573
Metanol*Tiempo	1	256.99	256.99	6.76	0.048
Amplitud*Tiempo	1	81.55	81.55	2.15	0.203
Error	5	189.96	37.99		
Falta de ajuste	3	167.78	55.93	5.04	0.170
Error puro	2	22.18	11.09		
Total	14	7992.68			

R-cuadrada = 97.6234 porciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93.3454 porciento
Error estándar del est. = 6.16373
Error absoluto medio = 3.2199

Estadístico Durbin-Watson = 2.64107 (P=0.9495)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.366062

El StatAdvisor

La tabla ANOVA muestra que cuatro efectos presentaron valores de $p < 0.05$, indicando una influencia significativa sobre la respuesta con un 95 % de confianza.

El coeficiente de determinación (R^2) indicó que el modelo ajustado explicó el 97.6234 % de la variabilidad observada en el contenido de antocianinas. Asimismo, el valor de R^2 ajustado (93.3454 %) confirmó un adecuado ajuste del modelo, considerando el número de variables independientes incluidas. El error estándar de la estimación fue de 6.16373, correspondiente a la desviación estándar de los residuos, mientras que el error medio absoluto (MAE) fue de 3.2199, representando la magnitud promedio de las desviaciones entre los valores observados y los predichos por el modelo. Por otro lado, la prueba de Durbin-Watson (DW) se empleó para evaluar la presencia de autocorrelación serial en los residuos. Dado que el valor de p fue superior a 0.05, no se encontró evidencia de autocorrelación significativa, con un nivel de significancia del 5 %.

Anexo 17. Análisis de varianza para fenoles totales

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	118250	13138.9	31.72	0.001
Lineal	3	114173	38057.6	91.88	0.000
Metanol	1	8644	8644.2	20.87	0.006
Amplitud	1	8347	8347.3	20.15	0.006
Tiempo	1	97181	97181.4	234.61	0.000
Cuadrado	3	1620	540.1	1.30	0.370
Metanol*Metanol	1	682	682.1	1.65	0.256
Amplitud*Amplitud	1	1052	1052.1	2.54	0.172
Tiempo*Tiempo	1	46	46.1	0.11	0.752
Interacción de 2 factores	3	2457	818.9	1.98	0.236
Metanol*Amplitud	1	1851	1851.1	4.47	0.088
Metanol*Tiempo	1	81	80.8	0.20	0.677
Amplitud*Tiempo	1	525	524.8	1.27	0.311
Error	5	2071	414.2		
Falta de ajuste	3	466	155.4	0.19	0.893
Error puro	2	1605	802.5		
Total	14	120321			

R-cuadrada = 98.2786 porciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 95.1802 porciento

Error estándar del est. = 20.3527
Error absoluto medio = 8.62916
Estadístico Durbin-Watson = 1.157 (P=0.0820)
Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0422396

El StatAdvisor

En la tabla ANOVA se observa que tres efectos presentaron valores de p inferiores a 0.05, evidenciando una influencia significativa sobre la respuesta con un nivel de confianza del 95 %.

El coeficiente de determinación (R^2) indicó que el modelo ajustado explicó el 98.2786 % de la variabilidad observada en el contenido de fenoles. Asimismo, el valor de R^2 ajustado (95.1802 %) confirmó un adecuado ajuste del modelo, considerando el número de variables independientes incluidas. El error estándar de la estimación fue de 20.3527, correspondiente a la desviación estándar de los residuos, mientras que el error medio absoluto (MAE) fue de 8.62916, representando el valor promedio de las desviaciones entre los valores observados y predichos. La prueba de Durbin-Watson (DW) se utilizó para evaluar la existencia de autocorrelación serial en los residuos. Dado que el valor de p fue superior a 0.05, no se encontró evidencia de autocorrelación significativa, con un nivel de significancia del 5 %.

Anexo 18. Análisis de varianza para capacidad antioxidante

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	13961664	1551296	15.66	0.004
Lineal	3	12821136	4273712	43.13	0.001
Metanol	1	2363580	2363580	23.85	0.005
Amplitud	1	1646430	1646430	16.62	0.010
Tiempo	1	8811126	8811126	88.92	0.000
Cuadrado	3	97126	32375	0.33	0.807
Metanol*Metanol	1	85212	85212	0.86	0.396
Amplitud*Amplitud	1	7344	7344	0.07	0.796
Tiempo*Tiempo	1	7	7	0.00	0.994
Interacción de 2 factores	3	1043402	347801	3.51	0.105
Metanol*Amplitud	1	100977	100977	1.02	0.359
Metanol*Tiempo	1	80837	80837	0.82	0.408
Amplitud*Tiempo	1	861588	861588	8.69	0.032
Error	5	495455	99091		
Falta de ajuste	3	467856	155952	11.30	0.082
Error puro	2	27598	13799		
Total	14	14457119			

R-cuadrada = 96.5729 porciento
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 90.4042 porciento
Error estándar del est. = 314.787
Error absoluto medio = 157.398
Estadístico Durbin-Watson = 2.37249 (P=0.8603)
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.201553

El StatAdvisor

La tabla ANOVA evidencia que cuatro efectos presentaron valores de p inferiores a 0.05, lo que indica una influencia significativa sobre la respuesta evaluada, con un nivel de confianza del 95 %.

El modelo presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 96.5729 %, lo que indica que explicó gran parte de la variabilidad observada en la capacidad antioxidante. Asimismo, el valor de R^2 ajustado (90.4042 %) confirmó un adecuado ajuste del modelo, considerando el número de variables independientes incluidas. El error estándar de la estimación fue de 314.787 y el error medio absoluto (MAE) de 157.398, reflejando la magnitud de las diferencias entre los valores observados y los predichos. Por otro lado, la prueba de Durbin-Watson no evidenció autocorrelación serial significativa en los residuos ($p > 0.05$), lo que respalda la validez estadística del modelo.