

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Efecto de las condiciones del ultrasonido en la obtención
de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de
extractos de *Ganoderma spp.***

Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería Agroindustrial

Autor:

Mg. Torres Gutiérrez, Elmer Robert
Código ORCID: 0000-0003-2360-6059

Asesor:

Dr. Sánchez Vaca, Daniel Angel
DNI. N° 18146173
Código ORCID. 0000-0003-4326-1852

Co-asesor

Dr. Torres Mayanga, Paulo César
DNI N° 44737060
Código ORCID: 0000-0001-9728-078X

Línea de investigación
Productos naturales de alto valor

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026



CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS

Nosotros, Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca, en calidad de Asesor, y Dr. Paulo César Torres Mayanga, en calidad de Coasesor, certificamos haber asesorado la Tesis de doctorado titulada: "Efecto de las condiciones del ultrasonido en la obtención de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de *Ganoderma spp.*", elaborado por el doctorando Elmer Robert Torres Gutiérrez, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Agroindustrial en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, febrero del 2026

Dr. Sanchez Vaca Daniel Angel

ASESOR

CÓDIGO ORCID 0000-0003-4326-1852

DNI N° 18146173

Dr. Torres Mayanga Paulo Cesar

COASESOR

CÓDIGO ORCID 0000-0001-9728-078X

DNI N° 44737060



HOJA AVAL DEL JURADO EVALUADOR

“Efecto de las condiciones del ultrasonido en la obtención de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de *Ganoderma spp.*”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Dr. Castillo Martinez Williams Esteward

PRESIDENTE

Código ORCID: 0000-0001-6917-1009

DNI N° 40169364

Dr. Gonzales Capcha John Kelby

SECRETARIO

Código ORCID: 0000-0001-7310-0502

DNI N° 40176130

Dr. Sanchez Vaca Daniel Angel

VOCAL

Código ORCID: 0000-0003-4326-1852

DNI N° 18146173



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los dieciocho días del mes de febrero del año 2026, siendo las 15:00 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 062-2026-EPG-UNS de fecha 22.01.2026, conformado por los docentes: Dr. Williams Esteward Castillo Martínez (Presidente), Dr. John Kelby Gonzales Capcha (Secretario) y Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: **"EFECTO DE LAS CONDICIONES DEL ULTRASONIDO EN LA OBTENCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE EXTRACTOS DE GANODERMA SPP"**; presentado por el tesista **Elmer Robert Torres Gutiérrez**, egresado del programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 108-2026-EPG-UNS de fecha 06 de febrero de 2026.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de Diecinueve (19).

Siendo las 16:00 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Dr. Williams Esteward Castillo Martínez
Presidente

Dr. John Kelby Gonzales Capcha
Secretario

Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
Vocal/Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: user user
Título del ejercicio: Efecto de las condiciones del ultrasonido en la obtención de c...
Título de la entrega: TESIS FINAL ELMER ROBERT FHRG - 09 de marzo 2026_fhrg.docx
Nombre del archivo: TESIS_FINAL_ELMER_ROBERT_FHRG_-_09_de_marzo_2026_fhrg...
Tamaño del archivo: 19.31M
Total páginas: 215
Total de palabras: 38,405
Total de caracteres: 229,753
Fecha de entrega: 10-mar-2026 01:28p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2899713272

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Doctorado en Ingeniería Agroindustrial



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

Efecto de las condiciones del ultrasonido en la obtención de
compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de
Ganoderma spp.

Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería
Agroindustrial

Autor:

Mtro. Torres Gutierrez, Elmer Robert
Código ORCID: 0000-0003-2360-6059

Asesor:

Dr. Sánchez Vaca, Daniel Angel
Código ORCID: 0000-0003-4326-1852
DNI N° 18146173

Co-asesor:

Dr. Torres Mayanga Paulo César
Código ORCID: 0000-0001-9728-078X
DNI N° 44737060

Línea de Investigación:

Productos naturales de alto valor
Nuevo Chimbote - PERÚ
2026

TESIS FINAL ELMER ROBERT FHRG - 09 de marzo 2026_fhrg.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
5	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1%

trichbo.netlify.app

DEDICATORIA

- A Dios, por guiar mis pasos, darme fortaleza y permitirme culminar esta etapa académica.
- A la Universidad Nacional del Santa, por abrirme sus puertas, acompañarme en mi formación académica y permitirme culminar con éxito el Doctorado en Ingeniería Agroindustrial, brindándome los recursos necesarios para hacer posible este proyecto de investigación.
- Al Dr. Américo Guevara Pérez, exrector de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), por facilitar, a través de la gestión del Dr. Paulo César Torres Mayanga, coasesor de la tesis, el uso del laboratorio del Instituto de Investigación de Bioquímica y Biología Molecular (IIBBM), cuyo apoyo fue fundamental para la ejecución de la presente investigación.
- A mis asesores, Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca y Dr. Paulo César Torres Mayanga, por su dedicación, paciencia y por ser pilares fundamentales en este camino académico.
- A mis docentes de la Universidad Nacional del Santa, por sembrar en mí la pasión por el conocimiento y la investigación.
- A mis compañeros de la Universidad Nacional del Santa, por el compañerismo, el intercambio de ideas y el apoyo brindado durante esta etapa de formación doctoral.
- Al equipo técnico de los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAT), por su valioso apoyo y facilidades brindadas para el desarrollo de este trabajo.
- A mi señor padre, Cipriano Torres; a mi recordada señora madre, Isabel Gutiérrez; y a Sonia Quispe, mi compañera, por su amor, apoyo incondicional y el aliento constante que me impulsaron a superar cada desafío.
- A mi familia, por su apoyo constante y su confianza en mí a lo largo de este proceso.
- A mi primo Fidel Risso, por su ejemplo de superación.

AGRADECIMIENTO

- Expreso mi más profundo agradecimiento al **CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (CONCYTEC)**, a través del programa **PROCIENCIA**, por el financiamiento otorgado en el marco del concurso “Proyectos de Investigación Básica 2022-01”, conforme al Contrato N° PE501077914-2022-PROCIENCIA, el cual hizo posible la ejecución y culminación de este trabajo de investigación.

INDICE

Certificación del asesor.....	ii
Aval del jurado evaluador.....	iii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Caracterización y naturaleza del objeto de investigación.....	6
1.3. Formulación del problema.....	7
1.4. Formulación de la hipótesis.....	7
1.5. Formulación de los objetivos de la investigación.....	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	8
1.6. Importancia y justificación	8
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes.....	11
2.2. Marco conceptual	32
2.2.1. Generalidades del <i>ganoderma</i>	32
2.2.2. Descripción.....	33
2.2.3. Clasificación taxonómica	33
2.2.4. Ecología.....	34
2.2.5. Propiedades.....	34
2.2.6. Ultrasonido	34
2.2.7. Frecuencias de ultrasonido según aplicación en tecnología alimentaria	35

2.2.8. Métodos de extracción de compuestos bioactivos.....	36
2.2.9. Compuestos fenólicos.....	37
2.2.10. Actividad antioxidante	39
2.2.11. Antioxidante.....	40
2.2.12. Métodos de determinación de actividad antioxidante.....	40
2.2.13. Compuestos bioactivos de <i>Ganoderma</i>	40
2.2.14. Estrés Oxidativo.....	41
2.2.15. Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC)	42
2.2.16. Método DPPH.....	43
2.2.17. Método ABTS	44
III. METODOLOGÍA.....	45
3.1. Variables e Indicadores de la Investigación	45
3.2. Método empleado en la investigación	49
3.3. Diseño de la Investigación:	49
3.3.1. Tipo de investigación	49
3.3.2. Nivel de investigación	49
3.3.3. Diseño experimental.....	50
3.4. Metodología para la prueba de hipótesis	54
3.4.1. Población, muestra y muestreo.....	54
3.4.2. Preparación y acondicionamiento de materia prima	55
3.4.3. Descripción del diagrama de flujo de la preparación y acondicionamiento de materia prima	57

3.4.4. Equipos	58
3.4.5. Extracción asistida por Ultrasonido (UAE).....	60
3.4.6. Diseño de investigación.....	62
3.4.7. Variables de la investigación.....	63
3.5. Técnicas e instrumentos empleados	66
3.5.1. Determinación de caracterización y características fisicoquímicas	66
3.5.2. Método para calcular el rendimiento total (X_0).....	66
3.5.3. Determinación de compuestos polifenólicos en <i>Ganoderma</i>	66
3.5.4. Análisis de actividad antioxidante.....	67
3.5.5. Procedimiento de recolección de datos	71
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
4.1. Determinación de caracterización y características fisicoquímicas.	77
4.2. Resultado de actividad antioxidante	84
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
5.1. Conclusiones.....	133
5.2. Recomendaciones	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
VI. ANEXOS	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación taxonómica de <i>Ganoderma applanatum</i>	33
Tabla 2	Frecuencias de ultrasonido según aplicación en tecnología alimentaria	35
Tabla 3	Clasificación de los principales tipos de compuestos fenólicos presentes en alimentos	39
Tabla 4	Operacionalización de variables del proceso de extracción asistida por ultrasonido (UAE) aplicado a <i>Ganoderma spp.</i>	46
Tabla 5	Operacionalización de las variables dependientes en la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de <i>Ganoderma spp.</i>	47
Tabla 6	Estructura general del diseño experimental	50
Tabla 7	Niveles codificados de las variables independientes en la evaluación del efecto de la amplitud de ultrasonido.....	51
Tabla 8	Composición del diseño experimental de los 2 tratamientos para la determinación de la amplitud expresados en %.....	51
Tabla 9	Niveles codificados de las variables independientes en la evaluación del efecto de la relación S/F (g solvente / g Ganoderma)	52
Tabla 10	Composición del diseño experimental de los 8 tratamientos para la determinación del S/F expresados en g solvente/ g Ganoderma	52
Tabla 11	Niveles codificados de las variables independientes en la evaluación del efecto de la energía suministra (Ws)	53
Tabla 12	Composición del diseño experimental de los 5 tratamientos para la determinación de la energía suministrada Ws	53
Tabla 13	Diseño experimental univariado secuencial para la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de compuestos bioactivos de <i>Ganoderma spp.</i>	62
Tabla 14	Composición proximal de <i>Ganoderma applanatum</i>	75

Tabla 15 Determinación de Humedad de <i>Ganoderma spp.</i>	77
Tabla 16 Resultados del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) obtenidos durante el proceso de extracción asistida por ultrasonido.	85
Tabla 17 Resultados de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido.....	87
Tabla 18 Análisis de varianza (ANOVA de un factor) para el rendimiento de extracción (X_0), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC), y actividad antioxidante (ABTS y DPPH) en la fase I.	115
Tabla 19 Identificación tentativa de compuestos fenólicos mediante análisis cromatográfico UPLC-DAD-MS y comparación con la literatura.....	121
Tabla 20 Análisis de varianza (ANOVA de un factor) para el rendimiento de extracción (X_0), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y actividad antioxidante (ABTS y DPPH) en la fase III.	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Viabilidad celular de adipocitos 3T3-L1 tratados con los compuestos 11 y 17.....	12
Figura 2	Espectros de dicroísmo circular electrónico (ECD) experimental y calculado del compuesto 5 y su enantiómero.....	13
Figura 3	Efecto dosis-dependiente de GAP-3S sobre la inducción de apoptosis y necrosis celular.....	17
Figura 4	Comportamiento de las burbujas durante la cavitación.....	35
Figura 5	Mecanismo propuesto de la acción de la sonicación sobre compuestos bioactivos en pulpa de jamun.....	37
Figura 6	Diagrama de flujo de la preparación y acondicionamiento de materia prima.....	56
Figura 7	Esquema del diseño experimental secuencial para la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de compuestos bioactivos de <i>Ganoderma spp.</i>	65
Figura 8	Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción.....	79
Figura 9	Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía acumulada durante el proceso de extracción.....	80
Figura 10	Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción.....	81
Figura 11	Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción.....	82
Figura 12	Distribución de la energía aplicada en función de la duración del tratamiento ultrasónico y relación lineal entre ambas variables.	83
Figura 13	Actividad antioxidante (ABTS) del extracto de <i>Ganoderma spp.</i> en función de la relación sólido/solvente (S/F) en la fase III del proceso de extracción.	90

Figura 14 Actividad antioxidante (ABTS) en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.....	91
Figura 15 Actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.	93
Figura 16 Actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase III del proceso de extracción.	95
Figura 17 Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase III del proceso de extracción.	96
Figura 18 Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.	98
Figura 19 Rendimiento de extracción en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.....	101
Figura 20 Rendimiento de extracción en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase III del proceso de extracción.	102
Figura 21 Perfil cromatográfico de compuestos fenólicos del extracto de <i>Ganoderma spp.</i> obtenido mediante HPLC-DAD a 280 nm.....	117
Figura 22 Evaluación de sostenibilidad del proceso de extracción ultrasónica de <i>Ganoderma spp.</i> mediante el método Path2Green.	126
Figura 23 Análisis de varianza (ANOVA de un factor) para el rendimiento de extracción (X_0), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y actividad antioxidante (ABTS y DPPH) en la fase II.....	130

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el efecto de las variables operativas del ultrasonido amplitud, relación solvente/materia prima (S/F) y energía suministrada sobre el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de extractos obtenidos a partir de *Ganoderma spp.*, mediante un diseño experimental univariado secuencial. Este estudio se enmarca en el creciente interés por la valorización de hongos medicinales como fuentes de compuestos bioactivos con potencial aplicación en las industrias alimentaria, nutracéutica y farmacéutica.

Inicialmente se realizó la caracterización fisicoquímica del material de estudio. Los resultados evidenciaron que el cuerpo fructífero fresco presentó aproximadamente 88.46 % de humedad y 11.54 % de materia seca, mientras que la muestra deshidratada mostró una composición proximal caracterizada por 10.02 % de humedad, 0.46 % de grasa cruda, 2.46 % de proteína cruda, 0.94 % de cenizas y 86.12 % de carbohidratos totales. Este perfil composicional confirma que el material seco constituye una matriz estable y adecuada para el desarrollo de procesos extractivos orientados a la recuperación de metabolitos bioactivos.

El estudio experimental se desarrolló en tres fases. En la primera fase se evaluó el efecto de la amplitud del ultrasonido (30 % y 39 %) sobre las variables de respuesta. Los resultados mostraron que esta variable no produjo diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales ni la actividad antioxidante evaluada mediante los métodos ABTS y DPPH. En consecuencia, se determinó que, dentro del rango evaluado, la amplitud no constituye un factor limitante del proceso extractivo.

En la segunda fase se analizó el efecto de la relación sólido/solvente (S/F). Los resultados evidenciaron un incremento progresivo del rendimiento de extracción, del contenido de compuestos fenólicos totales y de la actividad antioxidante a medida que aumentó la proporción

de solvente. El contenido de compuestos fenólicos totales se incrementó desde aproximadamente 257.99 mg EAG/100 g hasta 733.57 mg EAG/100 g. Paralelamente, la actividad antioxidante aumentó hasta alcanzar valores máximos de 42.04 mg EAG/g para ABTS y 30.87 mg EAG/g para DPPH. Este comportamiento demuestra que el incremento del volumen de solvente favorece la transferencia de masa y la liberación de metabolitos fenólicos presentes en la matriz fúngica.

En la tercera fase se evaluó el efecto de la energía específica suministrada durante el proceso de extracción. Los resultados evidenciaron que el incremento de la energía aplicada favoreció la liberación de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del extracto hasta alcanzar un punto óptimo cercano a 100.07 J/mL. Bajo esta condición se registraron los valores máximos de compuestos fenólicos totales (881.37 mg EAG/100 g), actividad antioxidante por ABTS (44.37 mg EAG/g) y por DPPH (32.69 mg EAG/g). Sin embargo, al incrementar la energía más allá de este umbral se observó una disminución de estas variables, lo que sugiere posibles procesos de degradación o transformación de compuestos fenólicos sensibles al exceso de energía ultrasónica.

La correlación observada entre el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante indica que estos metabolitos constituyen uno de los principales responsables de la capacidad antioxidante de los extractos de *Ganoderma spp.* Esta interpretación fue confirmada mediante el análisis cromatográfico por UPLC-DAD-MS, el cual permitió identificar diversos compuestos fenólicos, entre ellos ácidos fenólicos, catequinas, procianidinas y flavonoides.

Finalmente, la evaluación de sostenibilidad del proceso mediante la métrica Path2Green evidenció un nivel de sostenibilidad intermedio, con un puntaje global de 0.303. Si bien el proceso presenta ventajas asociadas al bajo posprocesamiento y al uso directo del extracto, se identificaron oportunidades de mejora relacionadas con el transporte de biomasa, la naturaleza del solvente utilizado y la ausencia de estrategias de valorización del residuo sólido.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la extracción asistida por ultrasonido constituye una estrategia tecnológica eficiente para mejorar la recuperación de compuestos fenólicos y potenciar la actividad antioxidante de extractos de *Ganoderma spp*, siempre que las condiciones operativas se optimicen adecuadamente.

Palabras clave: *Ganoderma spp.*; extracción asistida por ultrasonido; compuestos fenólicos; actividad antioxidante; UPLC-DAD-MS.

Abstract

The present research aimed to evaluate the effect of the operational variables of ultrasound amplitude, solvent/raw material ratio (S/F), and supplied energy on the extraction yield, the content of total phenolic compounds, and the antioxidant activity of extracts obtained from *Ganoderma spp.*, using a sequential univariate experimental design. This study is framed within the growing interest in the valorization of medicinal mushrooms as sources of bioactive compounds with potential applications in the food, nutraceutical, and pharmaceutical industries.

Initially, the physicochemical characterization of the study material was carried out. The results showed that the fresh fruiting body presented approximately 88.46% moisture and 11.54% dry matter, while the dehydrated sample showed a proximal composition characterized by 10.02% moisture, 0.46% crude fat, 2.46% crude protein, 0.94% ash, and 86.12% total carbohydrates. This compositional profile confirms that the dry material constitutes a stable and suitable matrix for the development of extraction processes aimed at the recovery of bioactive metabolites.

The experimental study was carried out in three phases. In the first phase, the effect of ultrasound amplitude (30% and 39%) on the response variables was evaluated. The results showed that this variable did not produce statistically significant differences in extraction yield, total phenolic compound content, or antioxidant activity measured by the ABTS and DPPH methods. Consequently, it was determined that, within the evaluated range, amplitude does not constitute a limiting factor in the extraction process.

In the second phase, the effect of the solid/solvent (S/F) ratio was analyzed. The results showed a progressive increase in extraction yield, total phenolic content, and antioxidant activity as the solvent proportion increased. The total phenolic content increased from approximately 257.99 mg GAE/100 g to 733.57 mg GAE/100 g. Simultaneously, antioxidant activity increased,

reaching maximum values of 42.04 mg GAE/g for ABTS and 30.87 mg GAE/g for DPPH. This behavior demonstrates that increasing the solvent volume favors mass transfer and the release of phenolic metabolites present in the fungal matrix.

In the third phase, the effect of the specific energy supplied during the extraction process was evaluated. The results showed that increasing the applied energy favored the release of phenolic compounds and the antioxidant activity of the extract until reaching an optimal point close to 100.07 J/mL. Under this condition, the maximum values of total phenolic compounds (881.37 mg GAE/100 g), antioxidant activity by ABTS (44.37 mg GAE/g), and by DPPH (32.69 mg GAE/g) were recorded. However, when the energy was increased beyond this threshold, a decrease in these variables was observed, suggesting possible processes of degradation or transformation of phenolic compounds sensitive to excessive ultrasonic energy.

The observed correlation between the total phenolic compound content and antioxidant activity indicates that these metabolites are one of the main contributors to the antioxidant capacity of *Ganoderma spp.* extracts. This interpretation was confirmed through chromatographic analysis by UPLC-DAD-MS, which allowed the identification of various phenolic compounds, including phenolic acids, catechins, procyanidins, and flavonoids.

Finally, the sustainability assessment of the process using the Path2Green metric evidenced an intermediate level of sustainability, with an overall score of 0.303. Although the process presents advantages associated with low post-processing and the direct use of the extract, opportunities for improvement were identified related to biomass transportation, the nature of the solvent used, and the absence of strategies for valorizing the solid residue.

Overall, the results obtained confirm that ultrasound assisted extraction constitutes an efficient technological strategy to improve the recovery of phenolic compounds and enhance the antioxidant activity of extracts from *Ganoderma spp.*, provided that the operational conditions are properly optimized.

Keywords: *Ganoderma spp.*; ultrasound assisted extraction; phenolic compounds; antioxidant activity; UPLC-DAD-MS.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La presente tesis doctoral reconoce el uso de hongos medicinales, como los del género *Ganoderma spp.*, ha ganado un creciente interés debido a su rica composición de compuestos bioactivos, especialmente los compuestos fenólicos, que son reconocidos por su potente actividad antioxidante. El estrés oxidativo se produce cuando existe un desequilibrio entre la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la capacidad antioxidante del sistema biológico para neutralizarlas. Este fenómeno puede provocar alteraciones en estructuras celulares, afectar la función mitocondrial y desencadenar procesos de daño celular. En este contexto, la evaluación de la actividad antioxidante de compuestos naturales resulta fundamental para identificar sustancias capaces de reducir estos efectos oxidativos. Por ello, en la presente investigación se analizó la capacidad antioxidante de los extractos de *Ganoderma* mediante los métodos ABTS y DPPH, los cuales permiten estimar la capacidad de neutralización de radicales libres presentes en el extracto (Prak et al., 2025).

Los hongos medicinales del género *Ganoderma* han despertado un creciente interés científico debido a la presencia de diversos compuestos bioactivos con potencial terapéutico. Entre estos metabolitos destacan los polisacáridos, triterpenos y compuestos fenólicos, los cuales han demostrado propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e hipolipidémicas. Estas sustancias bioactivas contribuyen a la regulación de diversos procesos fisiológicos y metabólicos en el organismo, lo que ha motivado numerosas investigaciones orientadas a su caracterización química y evaluación biológica (Wang et al., 2026).

En los últimos años, la extracción asistida por ultrasonido (EAU) ha cobrado creciente interés como una tecnología eficiente y sostenible para la recuperación de compuestos

bioactivos a partir de matrices vegetales y alimentarias. Su aplicación favorece la transferencia de masa, reduce el tiempo de extracción y disminuye el consumo de solventes, lo que representa una ventaja frente a métodos convencionales. Estudios recientes han demostrado que la EAU incrementa la liberación de compuestos fenólicos, flavonoides y otros metabolitos con actividad antioxidante, reforzando su potencial para el desarrollo de ingredientes funcionales y nutraceuticos (Peres et al., 2026; Vargas et al., 2026).

Asimismo, la literatura actual señala que la EAU no solo mejora el rendimiento extractivo, sino que también puede preservar la actividad biológica de los compuestos recuperados, particularmente cuando se emplean solventes de grado alimentario o tecnologías combinadas de extracción. En este sentido, se ha reportado que tratamientos basados en ultrasonido favorecen la obtención de extractos con mayor capacidad antioxidante y mejor perfil fitoquímico, lo que amplía sus posibilidades de aplicación en alimentos funcionales, sistemas encapsulados y productos con valor agregado (Adithya et al., 2026; W. Li et al., 2026).

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el efecto de las variables operativas del ultrasonido (amplitud, relación solvente y materia prima (S/F) y energía específica) sobre el rendimiento de extracción, contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de extractos obtenidos a partir de *Ganoderma spp.*, mediante un diseño experimental univariado secuencial.

La justificación de este estudio radica en la necesidad de optimizar los procesos de extracción para maximizar el rendimiento de compuestos bioactivos de alto valor. La comprensión de cómo las variables del ultrasonido influyen en la extracción permitió establecer las condiciones óptimas para obtener extractos con la mayor concentración de fenoles y, por ende, una actividad antioxidante superior. Esto podría impulsar la

aplicación de los extractos de *Ganoderma spp.* en la formulación de productos nutracéuticos y funcionales, contribuyendo así a la salud pública y al desarrollo de la biotecnología.

En nuestro país, la medicina natural ha sido utilizada desde hace mucho tiempo debido a creencias, tradiciones y costumbres, lo que ha llevado a muchas personas a optar por evitar los fármacos y productos químicos en el cuidado de su salud. Sin embargo, a pesar del creciente interés en los productos de origen natural, el *Ganoderma spp.*, aún no ha recibido el reconocimiento adecuado. Esta falta de valorización se debe principalmente a la escasez de información del *Ganoderma spp.*, especie de hongo silvestre que crece en los árboles madereros de la amazonia peruana, como la falta de información de uso y métodos de extracción, lo que limita su desarrollo y su presencia en el mercado.

En los últimos años, los hongos medicinales han despertado un creciente interés científico debido a su potencial como fuente de compuestos bioactivos con aplicaciones en la prevención y el tratamiento de diversas enfermedades. Dentro de este grupo, especies del género *Ganoderma*, especialmente *Ganoderma lucidum*, han sido ampliamente estudiadas por su uso tradicional y por la evidencia científica que respalda sus propiedades biológicas. Diversos estudios señalan que estos hongos contienen polisacáridos, triterpenoides, compuestos fenólicos, esteroides y otros metabolitos secundarios que presentan actividades antioxidantes, antiinflamatorias, inmunomoduladoras y antitumorales, lo que los convierte en recursos prometedores para el desarrollo de productos nutracéuticos y farmacéuticos (Abdullah et al., 2024; Cadar et al., 2023; Raza et al., 2024).

Desde la perspectiva de la salud humana, la relevancia de *Ganoderma* radica en su capacidad para intervenir en procesos fisiopatológicos asociados al estrés oxidativo, la inflamación crónica y diversas enfermedades metabólicas y degenerativas. En particular, los triterpenoides y polisacáridos presentes en *Ganoderma lucidum* han demostrado efectos antioxidantes, anticancerígenos, hepatoprotectores, neuroprotectores e inmunomoduladores, además de participar en la regulación de rutas moleculares implicadas en el daño celular y la proliferación tumoral (Cadar et al., 2023; Gao & Homayoonfal, 2023; Raza et al., 2024).

Asimismo, investigaciones recientes han evidenciado que otras especies del género, como *Ganoderma pfeifferi*, *Ganoderma resinaceum* y *Ganoderma tsugae*, también poseen compuestos bioactivos con actividades antioxidantes y antiproliferativas, así como efectos potenciales en la regulación del metabolismo lipídico y en la protección de órganos frente a procesos inflamatorios y degenerativos (Rašeta et al., 2024; Yang et al., 2024). En conjunto, estos hallazgos respaldan el creciente interés por el género *Ganoderma* como fuente natural de metabolitos funcionales con aplicaciones relevantes en la promoción de la salud y en el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas.

La importancia de los compuestos naturales y de las tecnologías empleadas para su extracción y control analítico radica en su estrecha relación con la salud humana, la inocuidad alimentaria y la preservación de moléculas bioactivas. En este contexto, Hart et al. (2021) señalan que la seguridad alimentaria constituye un objetivo central del procesamiento de alimentos, ya que la supervivencia y germinación de esporas microbianas puede favorecer el deterioro del producto y provocar enfermedades transmitidas por alimentos. Los autores destacan que el uso de dióxido de carbono supercrítico representa una alternativa no térmica capaz de inactivar esporas sin afectar

de manera significativa el contenido nutricional ni los atributos sensoriales, lo que refuerza su relevancia para la protección de la salud del consumidor.

Ormeño et al. (2011) señalan que los compuestos orgánicos volátiles biogénicos influyen en la calidad del aire y el clima, además de requerir técnicas de extracción adecuadas para evitar pérdidas o transformaciones de constituyentes termolábiles. En la misma línea, Hosseini et al. (2020), Ismaili et al. (2016) y Rezaeepour et al. (2015) destacan el valor de métodos de extracción asistidos por ultrasonido y enfoques verdes que reducen el uso de solventes, disminuyen el tiempo de análisis y operan a temperaturas más bajas, condiciones que favorecen una recuperación más eficiente de compuestos naturales y minimizan su degradación. En conjunto, estos avances analíticos son importantes porque permiten una determinación más confiable de moléculas de interés bioactivo o de contaminantes con implicancias para la salud y la seguridad de alimentos, aguas y productos biológicos.

En tanto, la efectividad de este método depende de diversos factores, como la frecuencia y potencia de las ondas ultrasónicas, temperatura, tiempo de extracción y la mezcla sólido líquido y la selección del solvente. La optimización de estos parámetros es clave para lograr una extracción eficiente, asegurando la máxima cantidad y calidad de los compuestos bioactivos. El principal desafío radica en establecer las circunstancias ideales de funcionamiento para optimizar el rendimiento maximizando el rendimiento sin comprometer la integridad del producto final.

En este contexto, el estudio de Liang et al. (2018), estudió compuestos bioactivos de *Ganoderma applanatum* a través del efecto hipouricémico de la 2,5-dihidroxiacetofenona, un compuesto bioactivo identificado mediante cribado computacional de *Ganoderma applanatum*, en ratones hiperuricémicos evaluó el potencial hipouricemiante de la 2,5-dihidroxiacetofenona (DHAP), metabolito

identificado en *Ganoderma applanatum* a través de estrategias de cribado in silico. Los resultados evidenciaron una reducción significativa de los niveles séricos de ácido úrico en ratones con hiperuricemia inducida.

El mecanismo de acción observado parece estar asociado, por un lado, con la inhibición de la actividad de la xantina oxidasa (XOD), enzima clave en la síntesis de ácido úrico, y por otro, con la modulación diferencial de transportadores renales implicados en su manejo tubular. Concretamente, se detectó un aumento en la expresión de OAT1, junto con una disminución en la expresión de GLUT9, URAT1 y CNT2, lo que sugiere un efecto combinado sobre la producción y la reabsorción del urato.

Adicionalmente, la DHAP mostró propiedades antiinflamatorias moderadas y un perfil de toxicidad bajo en las condiciones experimentales evaluadas. Dado su efecto inhibidor sobre la XOD, esta enzima se seleccionó como diana para los estudios de acoplamiento molecular. El análisis de interacción reveló la posible formación de tres enlaces de hidrógeno, que podrían contribuir de manera determinante a la estabilidad del complejo ligando enzima y a su correcta orientación dentro del sitio activo.

1.2. Caracterización y naturaleza del objeto de investigación

La falta de estandarización y la escasez de estudios sobre los parámetros óptimos pueden generar variabilidad en los resultados, lo que representa uno de los primordiales desafíos para la aplicación de esta tecnología en la industria. Jogaiah et al. (2019) emplearon extractos de basidiomicetos como estrategia sostenible para la síntesis ecológica de nanopartículas de plata (AgNPs). Entre las siete especies evaluadas, *Ganoderma applanatum* destacó por presentar la mayor actividad antimicrobiana frente a los patógenos ensayados. A partir de estos resultados, el extracto metanólico crudo de *Ganoderma applanatum* fue sometido a fraccionamiento mediante cromatografía en columna. Las fracciones obtenidas se evaluaron

inicialmente mediante ensayos antimicrobianos y, posteriormente, se analizaron desde el punto de vista fitoquímico utilizando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), con el fin de identificar la fracción más adecuada para la síntesis de AgNPs. La fracción 3 evidenció la actividad antimicrobiana más destacada, asociada a su elevado contenido en compuestos fenólicos, por lo que fue seleccionada para la biosíntesis de nanopartículas de plata. Las AgNPs obtenidas a partir de esta fracción se caracterizaron exhaustivamente mediante técnicas complementarias de microscopía, espectroscopía y difracción de rayos X, permitiendo determinar sus propiedades morfológicas, estructurales y ópticas.

1.3. Formulación del problema

¿Cómo influyen las variables operativas del ultrasonido (amplitud, relación cantidad solvente/alimentación y energía específica) en el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de los extractos obtenidos de *Ganoderma spp.*, utilizando un diseño experimental univariado secuencial?

1.4. Formulación de la hipótesis

Las variables operativas del ultrasonido amplitud, relación solvente y materia prima (S/F) y energía suministrada influyen significativamente y de manera diferenciada en el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de los extractos obtenidos de *Ganoderma spp.*, cuando se evalúan de forma secuencial mediante un diseño experimental univariado.

1.5. Formulación de los objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de las variables operativas del ultrasonido (amplitud, relación solvente y materia prima (S/F) y energía suministrada) sobre el rendimiento de

extracción, contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de extractos obtenidos a partir de *Ganoderma spp.*, mediante un diseño experimental univariado secuencial.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el efecto de la amplitud del ultrasonido sobre el rendimiento de extracción, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los extractos de *Ganoderma spp.*
- Determinar la influencia de la relación solvente y materia prima (S/F) sobre las variables de respuesta del proceso de extracción mediante ultrasonido.
- Evaluar el impacto de la energía total suministrada en el proceso de extracción de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante, identificando niveles óptimos de procesamiento.

1.6. Importancia y justificación

El género *Ganoderma*, especialmente *Ganoderma lucidum*, es reconocido por sus propiedades medicinales, atribuidas a compuestos bioactivos como triterpenoides, polisacáridos y ácidos ganodéricos. Tradicionalmente, la extracción de estos compuestos se ha realizado mediante métodos convencionales que suelen ser menos eficientes y más prolongados. La extracción asistida mediante ultrasonido (EAU), emerge como una técnica prometedora debido a su capacidad para incrementar la eficacia y disminuir el periodo de extracción. Estudios han demostrado que la EAU puede incrementar el rendimiento de compuestos bioactivos en comparación con métodos tradicionales.

Para Ramírez et al.(2019), el ultrasonido de potencia se presenta como una alternativa eficaz para la obtención de compuestos bioactivos a partir de combinaciones que incluyen desechos agroalimentarios. Asimismo, la industria alimentaria ha

intensificado la búsqueda de tecnologías eficientes que permitan obtener extractos con alto contenido de compuestos bioactivos y elevada actividad antioxidante. En este estudio se evaluó la extracción asistida por ultrasonido de potencia aplicada a mezclas de Aloe vera y pasta prensada de uva, con el propósito de cuantificar su contenido fenólico y su capacidad antioxidante, también las extracciones se realizaron con un equipo Hielscher UP400S, empleando sonotrodos de 14 y 40 mm durante 5 y 10 minutos a 20 °C. Los resultados mostraron concentraciones de compuestos fenólicos inferiores a 0,1 y hasta 1,5 mg EAG/g, siendo menores en las mezclas con mayor proporción de Aloe vera. El sonotrodo de 40 mm favoreció una mayor recuperación de compuestos fenólicos.

Este estudio de Hossain et al.(2021), evidencian que *Ganoderma applanatum* posee actividad antidiabética, hipolipidémica y hepatoprotectora. Estos efectos fueron además respaldados mediante análisis computacionales, que confirmaron la interacción potencial de sus compuestos bioactivos con dianas moleculares relevantes. La actividad observada podría atribuirse a la diversidad de metabolitos activos presentes en este hongo, los cuales actuarían de manera complementaria sobre distintas vías metabólicas. En este contexto, *Ganoderma applanatum* se perfila como una fuente prometedora de compuestos con potencial terapéutico para el manejo de la diabetes, la hiperlipidemia y las alteraciones hepáticas asociadas, especialmente en pacientes con hiperglucemia y complicaciones metabólicas relacionadas.

A nivel metodológico para Ramírez Ayala et al. (2020), evaluaron el potencial comercial de la diversidad fúngica local, se determinaron los contenidos de ácidos ganodéricos (AG) en tres fuentes: una cepa silvestre de *Ganoderma sp.*, una variedad comercial de *Ganoderma lucidum* y el sustrato residual posterior al cultivo. La cepa silvestre fue recolectada en Quimbaya (Quindío) Colombia, mientras que la variedad

comercial se cultivó sobre residuos agroindustriales de plátano. Las muestras, analizadas por triplicado, se sometieron a extracción mediante fluidos supercríticos y ultrasonido, y la cuantificación de AG se realizó por HPLC usando ácido ganodérico. El ultrasonido mostró mayores rendimientos de extracción. La cepa silvestre presentó la mayor concentración de AG (266 $\mu\text{g/g}$), aproximadamente 30 % superior a la comercial, lo que sugiere su potencial como fuente con proyección comercial.

A nivel ambiental para Fajardo et al. (2022), la extracción asistida por ultrasonido (EAU) para obtener aceites vegetales muestra que, aunque utiliza disolventes como el hexano, su consumo es menor que en los métodos convencionales. Además, reduce el tiempo de proceso y mejora el rendimiento de extracción. Los aceites obtenidos mantienen compuestos bioactivos con efectos beneficiosos, como la actividad antioxidante en la canola y el potencial anticancerígeno en el aceite de oliva.

A nivel teórico, Cui et al., (2025), la extracción asistida por ultrasonido (UAE) ha demostrado superar a la extracción por reflujo en caliente (HRE) en la recuperación del contenido total de triterpenos (TTC) y del contenido total de compuestos fenólicos (TPC). Para la optimización del proceso se aplicó un enfoque híbrido que integró la Metodología de Superficie de Respuesta, Redes Neuronales Artificiales y Algoritmos Genéticos (RSM-ANN-GA), permitiendo ajustar de manera sistemática los parámetros operativos de la UAE (potencia ultrasónica de 240 a 320 W, concentración de etanol de 70 a 90 %, relación líquido sólido de 50 a 70 mL/g y tiempo de sonicación de 30 a 90 min). El objetivo fue maximizar los valores de TTC, TPC, así como la actividad antioxidante determinada mediante los ensayos de captura del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y el Poder Antioxidante Reductor Férrico (FRAP). Las condiciones óptimas establecidas fueron una potencia ultrasónica de 320 W,

concentración de etanol del 74 %, relación líquido-sólido de 61 mL/g y un tiempo de sonicación de 69 min.

II. MARCO TEÓRICO

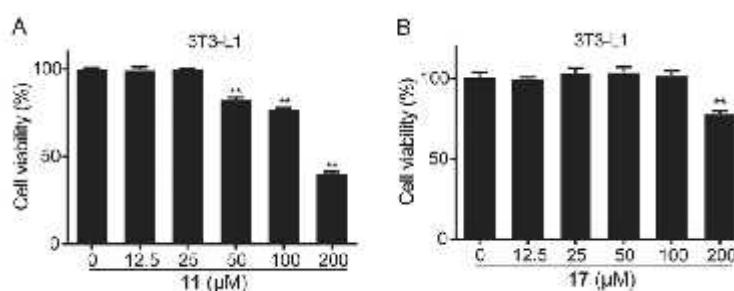
2.1. Antecedentes

Su et al.(2020) investigaron la composición fitoquímica de la fracción de acetato de etilo (EtOAc) obtenida a partir de los cuerpos fructíferos de *Ganoderma applanatum*, logrando el aislamiento de 22 triterpenoides, entre ellos 17 compuestos nuevos y 5 análogos previamente descritos. Desde el punto de vista estructural, los compuestos 1 y 2 fueron identificados como triterpenoides tipo lanostano con estructura espirónica en C-23, y la configuración absoluta del compuesto 1 se confirmó de manera inequívoca mediante análisis cristalográfico de rayos X de monocristal. El compuesto 6 constituyó el primer ejemplo reportado de un triterpenoide 2 norlanostano que presenta una inusual fracción hemiacetal. Los compuestos aislados (1–5, 7–11, 13–22 y 3a) fueron evaluados por su actividad antiadipogénica utilizando el modelo celular de adipocitos 3T3-L1. Los compuestos 11 y 17 mostraron una inhibición significativa y dependiente de la dosis en la acumulación de lípidos, así como una reducción de los niveles intracelulares de triglicéridos (TG) y colesterol total (TC) en células 3T3-L1 diferenciadas. Estos hallazgos sugieren que los triterpenoides de tipo lanostano altamente oxigenados presentes en *Ganoderma applanatum* podrían considerarse candidatos prometedores para inhibir la diferenciación de preadipocitos y la acumulación lipídica, lo que abre una perspectiva potencial en el abordaje terapéutico de la obesidad y de enfermedades asociadas, como la diabetes mellitus tipo 2 (DM2). La figura 1 demuestra que los compuestos 11 y 17 ejercen efectos dosis dependientes sobre la viabilidad de adipocitos 3T3 L1, siendo el compuesto 11 más citotóxico a altas concentraciones. Estos

resultados son fundamentales para establecer rangos adecuados en estudios orientados al tratamiento potencial de obesidad y trastornos metabólicos.

Figura 1

Viabilidad celular de adipocitos 3T3-L1 tratados con los compuestos 11 y 17



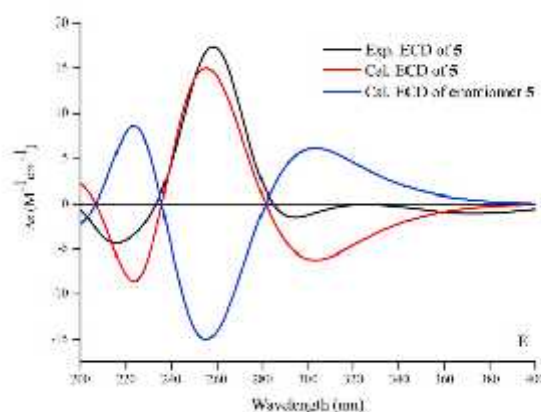
Nota. Adaptado de “Highly oxygenated lanostane triterpenoids from *Ganoderma applanatum* as a class of agents for inhibiting lipid accumulation in adipocytes”, por H.-G. Su et al., 2020, *Bioorganic Chemistry*, 104, 104263. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104263>.

Luo et al.(2020) llevaron a cabo un estudio fitoquímico exhaustivo de los cuerpos fructíferos de *Ganoderma applanatum*, que condujo al aislamiento de cinco triterpenoides tipo lanostano previamente no reportados (1 a 5), junto con seis compuestos ya conocidos (6 a 11), cuyos perfiles estructurales fueron debidamente elucidados. Los compuestos 1 y 2 fueron identificados como triterpenoides tipo lanostano que presentan dos cadenas laterales diferenciadas una de mayor longitud y otra más corta ambas unidas al carbono C-17 del esqueleto triterpénico. Cabe destacar que estas configuraciones estructurales reorganizadas se describen por primera vez dentro del género *Ganodermataceae*, lo que amplía el conocimiento químico de este taxón y refuerza su relevancia como fuente de metabolitos secundarios con características estructurales singulares. Asimismo, el compuesto 2 posee una fracción carbonílica 7,8,9,11,12 insaturada singular y una funcionalidad enólica. Los compuestos 1, 3 y 4 mostraron potentes actividades antiinflamatorias in vitro, lo que

respalda la pertinencia de realizar estudios farmacológicos adicionales para evaluar su potencial terapéutico.

Figura 2

Espectros de dicroísmo circular electrónico (ECD) experimental y calculado del compuesto 5 y su enantiómero



Nota. Comparación entre el espectro ECD experimental del compuesto 5 (línea negra), el espectro ECD calculado del compuesto 5 (línea roja) y el espectro calculado de su enantiómero (línea azul). La concordancia entre el espectro experimental y el calculado del compuesto 5, junto con la inversión de signo observada para el enantiómero, confirma la asignación de la configuración absoluta. Adaptado de “Lanostane-type triterpenoids from *Ganoderma applanatum* and their inhibitory activities on NO production in LPS-induced BV-2 cells”, por D. Luo et al., 2020, *Phytochemistry*, 177, 112453. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112453>.

Según Pat et al.(2023), el estudio demostró por primera vez el efecto de la elicitación con metil jasmonato en cultivos de micelio de *Ganoderma applanatum* sobre la producción de ácido ganodérico A y ácido ganodérico C. Los resultados evidenciaron diferencias tanto en la acumulación de los compuestos analizados como en la magnitud del efecto estimulante de la elicitación sobre su producción. Asimismo, no se observaron efectos adversos en el crecimiento de la biomasa como consecuencia de los tratamientos aplicados. Por otro lado, el estudio documentó el efecto citotóxico del

extracto de biomasa obtenido tras el proceso de elicitación en líneas celulares seleccionadas de cáncer humano, así como su selectividad frente a células normales. En consecuencia, se propone que los cultivos de micelio de *Ganoderma applanatum* constituyan un modelo adecuado para estudiar la dinámica de acumulación de compuestos con potencial terapéutico mediante elicitación abiótica.

De acuerdo a Song et al.(2021), los resultados evidenciaron que el SGRP (sulfated Ganoderma polysaccharide rich protein, proteína rica en polisacáridos sulfatados de Ganoderma) presentó un alto grado de homogeneidad estructural, con un peso molecular de 15.542 Da y un contenido de azufre del 7,8 %. Además, los estudios in vivo demostraron que este compuesto mitiga el daño hepático inducido por CCl₄ (tetracloruro de carbono), lo que se atribuye al incremento de la actividad de enzimas antioxidantes, a la inhibición de la vía de señalización TLR4/NF-κB (receptor tipo Toll 4/factor nuclear kappa B) y a la disminución en la liberación de citocinas proinflamatorias. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el SGRP posee un potencial terapéutico relevante en el tratamiento de procesos fibróticos hepáticos, tanto como suplemento alimenticio como en el desarrollo de formulaciones farmacéuticas por parte de la industria especializada.

Según Li et al.(2018), en este estudio, los ácidos ganoaplánicos A y B (1 y 2) se identificaron como dos triterpenoides reorganizados de tipo lanostano, caracterizados por un esqueleto tetracíclico fusionado 6/6/5/6. Entre ellos, el compuesto 2 constituye el primer ejemplo descrito de un triterpenoide reorganizado que presenta un anillo carbocíclico de tres miembros. Por su parte, el compuesto 3 se distingue por poseer una inusual fracción epóxido en las posiciones 11,12. En comparación con los triterpenoides aislados de otras especies del género *Ganoderma*, como *Ganoderma lucidum*, *Ganoderma calidophilum*, *Ganoderma cochlear* y *Ganoderma resinaceum*,

los compuestos obtenidos de *Ganoderma applanatum* presentan características estructurales distintivas. Esta diferenciación sugiere la posible existencia de perfiles de bioactividad particulares. Asimismo, *Ganoderma applanatum* ha sido utilizado en el ámbito clínico para el tratamiento de enfermedades hepáticas, lo que refuerza el interés científico en el estudio de sus metabolitos secundarios y su potencial terapéutico.

Según Li et al., (2020), el estudio estableció un método eficaz para la extracción de ácido ganodérico A y D a partir de *Ganoderma lucidum*. Tras la revisión de la literatura, se evidenció que los líquidos iónicos (ILs) presentan una mayor eficiencia que los disolventes tradicionales en la extracción de flavonoides, compuestos fenólicos, saponinas y terpenoides. En comparación con los métodos convencionales, el enfoque propuesto permitió obtener un mayor rendimiento en la extracción de los ácidos ganodéricos A y D. Asimismo, se determinaron las condiciones óptimas para la extracción asistida por ultrasonido con líquidos iónicos (ILUAE). Para optimizar el proceso y predecir el rendimiento de extracción, se empleó el algoritmo de retro propagación de Levenberg Marquardt en una red neuronal artificial de tres capas. La configuración con nueve neuronas en la capa oculta mostró el mejor desempeño, con un error cuadrático medio (MSE) de 0,09622 y un alto coeficiente de correlación ($R = 0,93332$). Bajo las condiciones experimentales evaluadas, el modelo de red neuronal demostró una adecuada capacidad para simular los datos experimentales y reproducir el comportamiento del proceso de extracción.

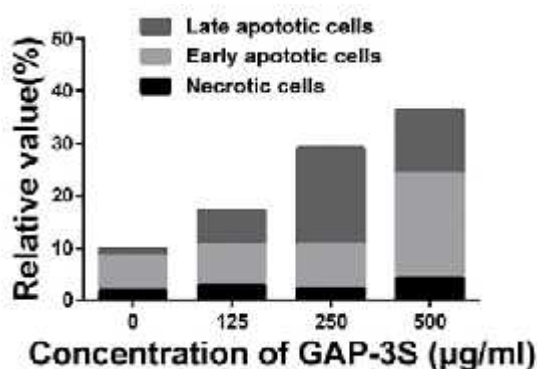
Según Im et al.(2021), en este estudio se evaluaron las actividades antioxidantes y antiinflamatorias del extracto metanólico (ME, methanolic extract) y del extracto acuoso obtenido por decocción en caliente (HE, hot water extract) a partir de los cuerpos fructíferos de *Ganoderma applanatum*. La capacidad de eliminación del radical 1,1-difenil-2-picrilhidracilo (DPPH) del ME a 2,0 mg/mL (94,83 %) fue comparable a

la del butilhidroxitolueno (BHT, butylated hydroxytoluene), utilizado como estándar de referencia. De igual manera, ambos extractos mostraron una actividad semejante al BHT frente a radicales hidroxilos, aunque presentaron una menor inhibición de la peroxidación lipídica. El análisis mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, high-performance liquid chromatography) permitió identificar nueve compuestos fenólicos, que podrían estar relacionados con las actividades observadas. La viabilidad de los macrófagos RAW 264.7 tratados con 2,0 mg/mL de ME y HE osciló entre 65,23 % y 68,12 %, lo que indica una ligera citotoxicidad a dicha concentración. Además, los extractos inhibieron la expresión de la sintasa de óxido nítrico inducible (iNOS, inducible nitric oxide synthase), mediada por óxido nítrico (NO, nitric oxide), en macrófagos estimulados con lipopolisacáridos (LPS, lipopolysaccharides), y redujeron el edema de pata inducido por carragenina en ratas. En conjunto, los resultados evidencian que los cuerpos fructíferos de *Ganoderma applanatum* poseen destacadas propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que respalda su potencial en el desarrollo de nuevos agentes terapéuticos.

Zhen et al. (2018) explican como purificaron y caracterizaron un polisacárido de *Ganoderma applanatum*, un hongo utilizado en las Técnicas de la Medicina Tradicional y la Medicina ancestral China (MTC) por sus propiedades medicinales, como las actividades analgésicas, hepatoprotectoras, inmunomoduladoras y antitumorales. Caracterizaron la estructura de GAP-3S, incluyendo su peso molecular, la composición de monosacáridos y el análisis espectroscópico en el infrarrojo. Además, investigaron la actividad antitumoral del polisacárido frente a células de cáncer de mama humano.

Figura 3

Efecto dosis-dependiente de GAP-3S sobre la inducción de apoptosis y necrosis celular



Nota. Disponible en Zhen et al.(2018).

El tratamiento con GAP-3S induce muerte celular de manera dependiente de la concentración, observándose un incremento progresivo en el porcentaje total de células apoptóticas y necróticas a medida que aumenta la dosis (0, 125, 250 y 500 µg/ml). La apoptosis constituye el principal mecanismo de muerte celular, evidenciado por el aumento marcado tanto de células en apoptosis temprana como tardía, especialmente a concentraciones de 250 y 500 µg/ml. En contraste, la necrosis también aumenta, pero en menor proporción, lo que sugiere que el efecto citotóxico del GAP-3S ocurre predominantemente a través de un proceso regulado de muerte celular (apoptosis) y no por daño celular descontrolado. Estos resultados indican que el compuesto ejerce un efecto biológico dosis-dependiente, promoviendo principalmente apoptosis.

Sarhadi et al. (2026) evaluaron la eficacia de la extracción asistida por ultrasonido (UAE) para recuperar compuestos fenólicos, antioxidantes y compuestos antimicrobianos a partir de hojas, frutos y raíces de *Capparis spinosa L.*. Para optimizar el proceso se aplicó metodología de superficie de respuesta (RSM) considerando dos variables principales: tiempo de extracción (10, 25 y 40 min) e intensidad ultrasónica

(40 %, 70 % y 100 %). Los resultados mostraron que las condiciones óptimas fueron 36 min y 91 % de intensidad ultrasónica, bajo las cuales se obtuvo el mayor contenido de compuestos fenólicos totales, alcanzando 21,80 mg/g en hojas, 14,96 mg/g en raíces y 15,11 mg/g en frutos. Asimismo, los extractos presentaron una importante capacidad antioxidante evaluada mediante el ensayo DPPH, registrándose valores de IC_{50} de 11,75 μ g/mL para extractos de hojas, lo que evidencia una elevada capacidad de neutralización de radicales libres. Los autores concluyen que el incremento del tiempo de sonicación y de la intensidad ultrasónica favorece la liberación de metabolitos antioxidantes, demostrando que la extracción por ultrasonido constituye una técnica eficiente y sostenible para la obtención de compuestos bioactivos de origen vegetal.

Suktham et al. (2026) compararon la extracción asistida por ultrasonido (UAE) con la extracción mediada por micelas (MME) para la obtención del compuesto bioactivo (2E,4E,8Z,10E)-N-isobutyl-2,4,8,10-dodecatetraenamida (IBDTA) a partir de *Acmella oleracea*. Para la técnica UAE se optimizaron variables como amplitud ultrasónica, tiempo de extracción y relación sólido-solvente mediante metodología de superficie de respuesta (RSM). Los resultados indicaron que la mayor eficiencia de extracción se alcanzó a 20 % de amplitud, 20 min de sonicación y una relación sólido-solvente de 1:5, logrando un rendimiento de 25,94 μ g/g de extracto crudo. Los autores señalaron que la cavitación generada por las ondas ultrasónicas mejora la transferencia de masa entre la matriz vegetal y el solvente, facilitando la liberación de compuestos bioactivos. Estos resultados evidencian que la UAE constituye una tecnología de extracción verde con alto potencial para aplicaciones industriales en la obtención de metabolitos bioactivos en las industrias farmacéutica, nutracéutica y cosmeceútica.

Jiménez Moreno et al. (2026) investigaron la aplicación de la extracción asistida por ultrasonido (UAE) para recuperar compuestos fenólicos presentes en la cáscara de

Campomanesia phaea (cambuci). Para optimizar el proceso se empleó un diseño Box Behnken, evaluando variables como concentración de etanol, temperatura, amplitud ultrasónica y ciclo de sonicación. Los resultados indicaron que las condiciones óptimas fueron 62,3 % de etanol, 45,4 °C, 70 % de amplitud y 10 min de extracción, obteniéndose una elevada recuperación de compuestos fenólicos totales y una capacidad antioxidante de 24,059 mg g⁻¹. Asimismo, el estudio permitió identificar compuestos bioactivos como chalconas mediante caracterización analítica avanzada. Los autores concluyen que la UAE representa una alternativa sostenible frente a métodos tradicionales como Soxhlet o maceración, ya que reduce el consumo de solventes y el tiempo de extracción mientras mejora la recuperación de metabolitos bioactivos.

Lu et al. (2026) desarrollaron un método de extracción asistida por ultrasonido utilizando solventes eutécticos profundos (DES) para la recuperación de resveratrol a partir de *Polygonum cuspidatum*. El sistema de solvente óptimo fue cloruro de colina glicerol (1:2) con 20 % de agua. La optimización del proceso mediante metodología de superficie de respuesta (RSM) permitió obtener un contenido máximo de $4,45 \pm 0,25$ mg/g de resveratrol, empleando 200 W de potencia ultrasónica, 20,5 minutos de sonicación y 33,3 mL/g de relación líquido-sólido. El análisis por microscopía electrónica reveló que la cavitación ultrasónica produce una ruptura significativa de las paredes celulares, lo que explica la mayor eficiencia extractiva frente a métodos convencionales como la extracción por reflujo con etanol. Los autores concluyen que la combinación de DES y ultrasonido constituye una estrategia rápida, eficiente y ambientalmente sostenible para la recuperación de compuestos fenólicos de matrices vegetales.

Mai et al. (2026) evaluaron la extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos en la microalga *Tetraselmis tetrahele* con el objetivo de mejorar el rendimiento de compuestos bioactivos y su actividad antioxidante. Se analizaron variables como la composición del solvente, temperatura, tiempo de extracción y relación sólido-solvente, determinándose condiciones óptimas de 1:75 (sólido-solvente), 25 °C, 15 minutos de extracción y 75 % de etanol. Los extractos obtenidos mediante UAE presentaron incrementos significativos en el contenido de ácido gálico, compuestos fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante determinada por los ensayos ABTS y DPPH, superando ampliamente a los obtenidos mediante maceración convencional. Los autores concluyen que la UAE constituye una tecnología verde eficiente y escalable para la obtención de compuestos antioxidantes a partir de microalgas con aplicaciones en alimentos funcionales y nutraceuticos.

Zhu et al. (2026) desarrollaron un proceso integrado basado en extracción asistida por ultrasonido y purificación con resinas macroporosas para recuperar polifenoles bioactivos de vainas de *Paeonia ostii*. La optimización del proceso mediante metodología de superficie de respuesta permitió establecer condiciones óptimas de 46 % de etanol, relación líquido-sólido de 14 mL/g y 60 minutos de ultrasonido, logrando un rendimiento de 52,17 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de materia seca. Posteriormente, la fracción polifenólica purificada mostró una fuerte actividad inhibitoria frente a α -glucosidasa, con un valor IC₅₀ de 639,96 μ g/mL, lo que sugiere un potencial para el control de la hiperglucemia postprandial. Los autores destacan que la cavitación ultrasónica facilita la ruptura de la pared celular y mejora la transferencia de masa, permitiendo una recuperación más eficiente de polifenoles en comparación con métodos convencionales.

Stinco et al. (2025) investigaron la extracción de zeaxantina a partir de bayas de goji (*Lycium barbarum*) utilizando ultrasonido y microondas. Los resultados mostraron que la extracción ultrasónica alcanzó un rendimiento de 68 % (151,8 mg/kg), superior al obtenido mediante microondas (54,5 %). Los autores señalan que la eficiencia de la UAE se relaciona con el fenómeno de cavitación acústica, el cual mejora la transferencia de masa entre el solvente y la matriz vegetal. Además, el uso de aceite de maíz como solvente alimentario permitió desarrollar un método libre de solventes orgánicos, lo que favorece su aplicación directa en alimentos funcionales.

Vargas et al.(2026) evaluaron la aplicación de extracción asistida por ultrasonido en semillas de copoazú (*Theobroma grandiflorum*) para obtener compuestos bioactivos con potencial aplicación en alimentos funcionales. Los resultados mostraron que la UAE incrementó significativamente el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides en 47,6 % y 89,8 % respectivamente, en comparación con la extracción convencional. Asimismo, los extractos obtenidos presentaron una mayor actividad antioxidante evaluada mediante los ensayos DPPH, ABTS y FRAP. Los autores atribuyen estos resultados al efecto de cavitación generado por las ondas ultrasónicas, el cual produce la ruptura de las paredes celulares y facilita la liberación de compuestos bioactivos presentes en la matriz vegetal.

Peres et al. (2026) analizaron la extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos en especies de *Capsicum* con el propósito de desarrollar microcápsulas funcionales para su incorporación en matrices alimentarias. Los resultados demostraron que la UAE incrementó significativamente la recuperación de capsaicinoides y compuestos fenólicos, incluyendo ácido ferúlico, ácido p-cumárico y rutina. Además, los extractos obtenidos mediante ultrasonido presentaron mayor estabilidad antioxidante y mejores características funcionales tras su encapsulación. Los autores

destacan que la cavitación ultrasónica facilita la ruptura de estructuras celulares, mejorando la liberación de metabolitos y reduciendo el tiempo de extracción.

Berkati et al. (2026) optimizaron la extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos presentes en frutos de *Prunus spinosa* utilizando glicerina como solvente de grado alimentario. El estudio demostró que la aplicación de ultrasonido permitió incrementar el contenido de compuestos fenólicos totales de 9,28 a 23,22 mg GAE/g, mientras que la actividad antioxidante evaluada mediante el ensayo DPPH aumentó de 57,04 % a 86,34 %. La optimización del proceso se realizó mediante metodología de superficie de respuesta y redes neuronales artificiales, identificándose como condiciones óptimas 9 minutos de extracción, 100 % de amplitud ultrasónica y 40 % de agua en glicerina.

Batista et al. (2026) estudiaron la extracción ultrasónica de compuestos fenólicos a partir de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*), un subproducto de la industria alimentaria. La optimización del proceso mediante metodología de superficie de respuesta permitió determinar como condiciones ideales 66,9 minutos de extracción, 44,9 °C y una relación sólido solvente de 1:46,82. Los resultados demostraron que la UAE mejora significativamente la recuperación de compuestos fenólicos debido a la cavitación generada por las ondas ultrasónicas, la cual produce la ruptura de las paredes celulares y facilita la liberación de metabolitos antioxidantes.

Firdaus et al. (2026) investigaron la extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos presentes en residuos de café (*Coffea arabica*), utilizando diferentes solventes con el objetivo de valorizar este subproducto agroindustrial. El sistema solvente óptimo fue una mezcla glicerol metanol, que permitió obtener un contenido de compuestos fenólicos totales de 6,059 mg GAE/g y flavonoides de 8,549 mg QE/g. Mediante análisis LC-MS se identificaron metabolitos como cafeína y ácidos

clorogénicos, asociados con actividades antioxidantes y antiinflamatorias. Los autores concluyen que la UAE constituye una estrategia sostenible para la recuperación de metabolitos de alto valor a partir de residuos agroindustriales.

Liu et al. (2026) desarrollaron una estrategia de extracción sinérgica in situ asistida por ultrasonido para recuperar ácidos fenólicos de *Lonicera japonica* Thunb., empleando un solvente eutéctico profundo ternario (TDES) y una optimización integrada mediante RSM–ANN–GA. Tras el cribado de veinte formulaciones, seleccionaron como solvente óptimo el sistema formado por choline dihydrogen citrate, ácido láctico y urea, y determinaron como condiciones óptimas 37 % de agua, 28 mL/g de relación líquido/sólido, 30 min de ultrasonido, 12 min de vórtex y 240 W de potencia ultrasónica. Bajo estas condiciones, el rendimiento total de cuatro ácidos fenólicos alcanzó 90.66 ± 1.46 mg/g, valor superior al de los métodos convencionales. Además, el estudio confirmó que la intensificación cavitacional favoreció la ruptura de pared celular y mejoró la transferencia de masa, respaldando el potencial del proceso como una alternativa verde, eficiente y reproducible para la recuperación de compuestos fenólicos bioactivos.

Kaur et al. (2026) investigaron la extracción asistida por ultrasonido y enzimas (UAEE) para recuperar aceite de semillas de *Moringa oleifera*, utilizando celulasa y optimizando el proceso mediante metodología de superficie de respuesta con diseño compuesto central. Evaluaron tres variables críticas: amplitud ultrasónica (20–60 %), tiempo de incubación (1–2 h) y tamaño de partícula (0.3–2.36 mm). El estudio determinó como condiciones óptimas 20 % de amplitud, 1 h de incubación y 0.3 mm de tamaño de partícula, con un rendimiento de 35.81 %, mientras que la validación experimental mostró un rendimiento cercano de 35.88 %. El análisis estadístico indicó que el tamaño de partícula fue el factor más influyente, seguido del tiempo de

incubación y la amplitud ultrasónica. Los autores concluyeron que la combinación de ultrasonido y tratamiento enzimático genera un efecto sinérgico, favoreciendo la ruptura estructural de las células y mejorando la liberación del aceite.

Barros et al.(2025) realizaron un estudio comparativo entre extracción asistida por microondas (MAE) y extracción asistida por ultrasonido (UAE) para recuperar compuestos fenólicos de corteza de *Pinus pinaster*. Mostró que la UAE permitió obtener 3.47 g de extracto/100 g de corteza y 514 mg GAE/g, mientras que la MAE alcanzó mayores valores. No obstante, la UAE mostró mejor desempeño en algunas respuestas biológicas específicas, como TBARS y CAA.

(Huo et al., 2025) optimizaron la recuperación de compuestos fenólicos a partir de residuos del tallo de *Flammulina velutipes* mediante extracción asistida por ultrasonido integrada con surfactantes no iónicos. Los resultados demostraron que esta técnica incrementó significativamente el rendimiento de polifenoles respecto a métodos convencionales de extracción, además de mejorar la actividad antioxidante evaluada mediante ensayos DPPH, ABTS y FRAP. Asimismo, el estudio evidenció que la optimización de variables como tiempo, temperatura y potencia ultrasónica permitió aumentar la eficiencia del proceso y reducir el consumo energético, lo que posiciona a la UAE como una alternativa sostenible para la valorización de biomasa fúngica.

Los hongos comestibles han sido reconocidos como una importante fuente de compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes. Diversas investigaciones han señalado que los compuestos fenólicos presentes en hongos pueden contribuir a la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. En este contexto, el desarrollo de tecnologías emergentes de extracción ha permitido mejorar la recuperación de estos compuestos bioactivos. Entre estas tecnologías, la extracción asistida por ultrasonido, microondas, fluidos supercríticos y

líquidos presurizados han demostrado ser métodos eficientes y sostenibles para obtener extractos ricos en polifenoles, ya que reducen los tiempos de procesamiento y el consumo de solventes en comparación con técnicas tradicionales como la maceración o Soxhlet (Parí et al., 2025).

Los hongos medicinales constituyen una fuente importante de metabolitos bioactivos con diversas actividades biológicas. Se ha reportado que compuestos como polisacáridos, triterpenoides, compuestos fenólicos y péptidos bioactivos pueden ejercer efectos antioxidantes y antiinflamatorios al modular diferentes rutas celulares asociadas al estrés oxidativo y a procesos inflamatorios crónicos. Estos compuestos pueden actuar sobre mecanismos moleculares como las vías NF-kB, MAPK y Nrf2, las cuales participan en la regulación de la respuesta inmunológica y en la reducción del daño celular inducido por radicales libres (Xiaoying et al., 2025).

El interés por los hongos medicinales también se relaciona con su composición química y sus potenciales aplicaciones terapéuticas. En particular, *Ganoderma lucidum* ha sido ampliamente estudiado por contener diversos metabolitos bioactivos, como polisacáridos, triterpenoides, compuestos fenólicos, esteroides y proteínas. Estos compuestos han demostrado propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladoras, además de efectos protectores frente a enfermedades metabólicas, cardiovasculares y neurodegenerativas. Los avances en tecnologías de extracción, como la extracción asistida por ultrasonido y microondas, han permitido mejorar la recuperación y biodisponibilidad de estos compuestos, ampliando su potencial en el desarrollo de alimentos funcionales y productos nutracéuticos (Plosca et al., 2025).

Diversos estudios han evaluado la composición química de diferentes especies de hongos comestibles, destacando su contenido de compuestos fenólicos, vitaminas, minerales y ácidos grasos. En una investigación reciente se analizaron cuatro especies

de hongos comestibles, determinándose su perfil de compuestos fenólicos mediante HPLC y su composición lipídica mediante GC-MS. Los resultados mostraron que el ácido gálico fue uno de los compuestos fenólicos predominantes, mientras que el ácido linoleico representó el principal ácido graso identificado. Asimismo, los extractos de estos hongos presentaron actividad antioxidante y capacidad para inhibir la enzima xantina oxidasa, lo que sugiere su potencial aplicación en la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo (Ekin et al., 2025).

El potencial terapéutico de los hongos también ha sido evaluado en estudios que analizan sus efectos protectores frente a diversas enfermedades. Investigaciones recientes han demostrado que extractos obtenidos de especies como *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Pleurotus ostreatus* y *Agaricus bisporus* poseen propiedades antioxidantes, neuroprotectoras y hepatoprotectoras. Estos efectos se atribuyen principalmente a la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y otros metabolitos secundarios capaces de reducir el estrés oxidativo, modular la respuesta inflamatoria y mejorar diferentes parámetros fisiológicos asociados al envejecimiento celular (Abdelkader et al., 2025).

Las especies de hongos medicinales también han sido utilizadas tradicionalmente por su valor nutricional y farmacológico. Un ejemplo es *Hericium erinaceus*, especie que contiene diversos metabolitos bioactivos como polisacáridos, compuestos fenólicos y terpenoides, asociados con propiedades antioxidantes, neuroprotectoras e inmunomoduladoras. La literatura reciente destaca que estos compuestos pueden contribuir a la prevención de enfermedades neurodegenerativas y a la mejora de la función cognitiva, lo que ha generado un creciente interés en su aplicación en alimentos funcionales y productos nutraceuticos (Suleimenova et al., 2025).

Asimismo, la incorporación de hongos medicinales en el desarrollo de alimentos funcionales ha sido objeto de estudio debido a su contenido de compuestos bioactivos. Investigaciones recientes han demostrado que la adición de polvo liofilizado de *Hericium erinaceus* en alimentos puede incrementar el contenido de proteínas, fibra dietética y compuestos fenólicos, mejorando así el valor nutricional y funcional del producto final. Además, estos compuestos han mostrado propiedades antioxidantes y neuroprotectoras que podrían contribuir a la prevención de enfermedades relacionadas con el envejecimiento (Gunathilake et al., 2025).

Finalmente, algunos estudios han explorado el uso de hongos medicinales en procesos biotecnológicos relacionados con la valorización de residuos agroindustriales. Se ha demostrado que diferentes especies de hongos pueden crecer en medios ricos en compuestos fenólicos y degradar estos compuestos mediante procesos enzimáticos. En particular, ciertas especies han mostrado una elevada capacidad para eliminar compuestos fenólicos presentes en aguas residuales de la industria del aceite de oliva, alcanzando tasas de remoción superiores al 80 %, lo que evidencia su potencial para aplicaciones en biorremediación y producción de metabolitos de interés industrial (Diamantis et al., 2025).

En las últimas décadas, el interés científico por los hongos medicinales ha aumentado considerablemente debido a su riqueza en metabolitos secundarios con potencial terapéutico. Diversos estudios han demostrado que los macrohongos constituyen una fuente importante de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias, anticancerígenas e inmunomoduladoras, lo que ha impulsado su estudio en campos como la biotecnología, la farmacología y la medicina natural (Pigoń-Zajac et al., 2025). Estos organismos, pertenecientes principalmente a los filos Basidiomycota y Ascomycota, han sido utilizados durante siglos en diferentes

sistemas de medicina tradicional, especialmente en Asia, donde forman parte de prácticas terapéuticas destinadas a fortalecer el sistema inmunológico y tratar diversas enfermedades.

Los hongos medicinales se caracterizan por producir una amplia variedad de metabolitos secundarios, tales como polisacáridos, compuestos fenólicos, terpenoides, esteroides, flavonoides y alcaloides. Estos compuestos han demostrado poseer múltiples actividades biológicas relevantes para la salud humana. En particular, los polisacáridos, especialmente los β -glucanos, han sido ampliamente estudiados por su capacidad de estimular la respuesta inmunitaria y su posible aplicación en el tratamiento de enfermedades crónicas (Sevindik et al., 2025). Asimismo, los compuestos fenólicos presentes en diferentes especies de hongos contribuyen significativamente a su actividad antioxidante, lo cual permite neutralizar radicales libres y reducir el daño oxidativo asociado con diversas patologías.

Entre los hongos medicinales más investigados se encuentran especies pertenecientes a la familia Polyporaceae, que incluyen géneros ampliamente reconocidos por su valor farmacológico. Dentro de este grupo se encuentran especies como *Ganoderma lucidum*, *Fomes fomentarius*, *Cerrena unicolor* y *Phellinus* spp., las cuales han demostrado poseer múltiples propiedades biológicas. De acuerdo con Pigoń-Zajac et al. (2025), aproximadamente 700 especies de hongos han sido identificadas con potencial medicinal, lo que evidencia la enorme diversidad de compuestos bioactivos presentes en estos organismos y su relevancia como fuente de nuevos fármacos.

Uno de los hongos más estudiados es *Ganoderma lucidum*, conocido comúnmente como “reishi”. Este macrohongo ha sido utilizado durante siglos en la medicina tradicional asiática debido a sus múltiples efectos beneficiosos sobre la salud. Investigaciones recientes han identificado más de 400 metabolitos secundarios en esta

especie, incluyendo triterpenoides, polisacáridos, esteroides y compuestos fenólicos, los cuales están asociados con actividades farmacológicas como efectos antioxidantes, antitumorales, antiinflamatorios y hepatoprotectores (Mohamed et al., 2025). Además, algunos compuestos derivados de este hongo, como los depsidones, han demostrado una notable actividad citotóxica contra diferentes líneas celulares de cáncer, lo que resalta su potencial en el desarrollo de nuevos tratamientos oncológicos.

Otro hongo de gran interés es *Fomes fomentarius*, un poliporo ampliamente distribuido en regiones templadas de Europa, Asia y América. Este organismo ha sido utilizado tradicionalmente en diversas culturas para tratar afecciones como inflamaciones, trastornos digestivos y heridas. Estudios recientes han demostrado que sus extractos contienen una gran diversidad de compuestos bioactivos, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides y ácidos orgánicos. Estas sustancias han mostrado importantes propiedades antioxidantes y antimicrobianas, lo que respalda su potencial aplicación en el desarrollo de productos farmacéuticos y nutracéuticos (Erbai et al., 2025). Asimismo, investigaciones recientes han señalado que la optimización de los procesos de extracción puede aumentar significativamente la concentración de estos compuestos bioactivos y mejorar sus actividades biológicas (Eraslan, 2026).

La investigación sobre hongos medicinales también ha evidenciado su potencial en el tratamiento del cáncer. En este sentido, diversas especies de hongos han mostrado capacidad para inhibir la proliferación de células tumorales mediante mecanismos que incluyen la inducción de apoptosis, la regulación de genes relacionados con la muerte celular y la inhibición de la migración celular. Por ejemplo, estudios realizados con extractos del hongo *Daldinia eschscholtzii* demostraron que sus compuestos bioactivos pueden inducir apoptosis en células de cáncer pulmonar, lo que sugiere su posible aplicación como agente anticancerígeno natural (Bera et al., 2025). Estos efectos se

atribuyen principalmente a la presencia de flavonoides, polifenoles y alcaloides, compuestos conocidos por su actividad antioxidante y citotóxica.

Asimismo, otras especies de hongos han sido estudiadas por su potencial en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas. En particular, algunos extractos han demostrado actividad inhibitoria sobre enzimas como la acetilcolinesterasa y la butirilcolinesterasa, lo que podría ser relevante para el desarrollo de terapias dirigidas al tratamiento del Alzheimer y otros trastornos neurológicos. Investigaciones sobre *Phellinus hartigii* revelaron que sus extractos presentan actividad antioxidante significativa y capacidad inhibitoria sobre dichas enzimas, lo que sugiere su potencial uso en el desarrollo de nuevos compuestos terapéuticos (Ünal et al., 2025).

Además del ámbito farmacológico, los hongos medicinales también han despertado interés en la industria alimentaria y cosmética. Diversos compuestos derivados de plantas y hongos han sido utilizados en formulaciones cosméticas debido a sus propiedades antioxidantes, fotoprotectoras y antimicrobianas. Por ejemplo, algunos metabolitos naturales han demostrado capacidad para inhibir la enzima tirosinasa, responsable de la producción de melanina, lo que ha motivado su uso en productos destinados al cuidado de la piel y al tratamiento de hiperpigmentaciones (Vu et al., 2025).

En este contexto, Trevisiol et al. (2026) evaluaron la aplicación de ultrasonido para la extracción de compuestos solubles en agua a partir de huesos de aceituna, un subproducto agroindustrial abundante. Los autores demostraron que el incremento del tiempo de sonicación favorece la liberación de compuestos fenólicos y macromoléculas derivadas de la ruptura de la matriz lignocelulósica, aumentando el contenido fenólico desde 247.5 hasta 367.3 mg GAE/g de materia seca, además de mejorar la actividad antioxidante y antimicrobiana de los extractos. Estos resultados evidencian el potencial

de la tecnología ultrasónica para valorizar residuos agrícolas dentro de esquemas de economía circular.

De manera similar, Wu et al. (2026) investigaron la extracción de compuestos fenólicos presentes en la corteza de abedul blanco (*Betula platyphylla*) utilizando solventes eutécticos profundos combinados con ultrasonido. El estudio optimizó las condiciones de extracción mediante metodología de superficie de respuesta, obteniendo un rendimiento de 29.17 mg/g de fenoles totales, superior a los métodos convencionales con etanol. Asimismo, los extractos presentaron destacada actividad antioxidante, antimicrobiana e hipoglucémica, lo que demuestra la eficiencia de esta tecnología para recuperar compuestos bioactivos de matrices vegetales.

De acuerdo con Cenitagoya Alonso et al. (2026) se optimizó la extracción asistida por ultrasonido de compuestos polifenólicos presentes en hojas de papaya (*Carica papaya*) con el objetivo de utilizarlos como ingredientes funcionales en alimentos de origen vegetal. Bajo condiciones optimizadas se obtuvo un extracto con 112 ± 9 mg GAE/g de compuestos fenólicos totales, acompañado de una elevada actividad antioxidante evaluada mediante métodos FRAP, ABTS, CUPRAC y DPPH. Además, mediante HPLC-MS se identificaron compuestos como ácido ferúlico, quercetina y rutina, los cuales contribuyen al potencial biofuncional del extracto.

Mardokić et al. (2026) analizaron la recuperación de polifenoles presentes en orujo de oliva mediante extracción asistida por ultrasonido. Los resultados indicaron que el contenido fenólico total varió entre 3.87 y 19.50 mg equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco, observándose además una correlación positiva significativa entre el contenido fenólico y la actividad antioxidante ($r = 0.85$; $p < 0.001$). El estudio concluye que el ultrasonido constituye una alternativa sostenible para recuperar compuestos antioxidantes a partir de residuos agroindustriales.

Tomala et al. (2026) optimizaron el proceso de extracción asistida por ultrasonido en *Comarum palustre L.*, evaluando el efecto de variables como el tiempo de extracción y la concentración del solvente. Los resultados mostraron que bajo condiciones óptimas se obtuvieron extractos con actividad antioxidante superior a 120 mg equivalentes de Trolox/L (método DPPH) y un contenido de polifenoles superior a 6 g GAE/L. Estos compuestos incluyen metabolitos fenólicos como elagitaninos, flavonoides y proantocianidinas, los cuales explican el potencial antioxidante y antiinflamatorio de esta especie vegetal.

Moreira et al. (2026) investigaron la recuperación de compuestos fenólicos presentes en residuos de aguacate (*Persea americana*) mediante extracción asistida por ultrasonido. El estudio reportó un rendimiento de 1056 mg GAE/100 g de fenoles tras 15 minutos de extracción con etanol al 50 %, valor significativamente superior al obtenido mediante extracción convencional (656 mg GAE/100 g después de 180 minutos). Este incremento se explica por el fenómeno de cavitación acústica, el cual provoca la ruptura de las paredes celulares y favorece la liberación de compuestos bioactivos.

Karakus (2026) analizó la influencia del método de extracción en la composición fitoquímica de *Centaurea urvillei* subsp. *stepposa*, comparando maceración, Soxhlet y extracción asistida por ultrasonido. El estudio demostró que la extracción ultrasónica favorece la recuperación de flavonoides glucosilados y compuestos fenólicos con elevada capacidad antioxidante, evidenciada mediante ensayos DPPH, ABTS y FRAP. Además, se identificó el ácido clorogénico como uno de los principales compuestos fenólicos presentes en los extractos.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Generalidades del *ganoderma*

La familia Ganodermataceae está conformada por cuatro géneros: *Amauroderma*, *Ganoderma*, *Haddowia* y *Humphreya*, e incluye aproximadamente 117 especies con amplia distribución geográfica. Se caracteriza por presentar basidiosporas de doble pared, con una capa externa y otra interna gruesa, lisa y pigmentada. Es una familia cosmopolita que produce pudrición blanca en su hospedero y desempeña un papel ecológico importante como degradadora de lignina (Salazar, 2014; Naranjo, 2014, como se citó en Solórzano Orellana, 2017).

2.2.2. Descripción

El género *Ganoderma* presenta distribución mundial y se encuentra en zonas templadas y tropicales. Crece sobre madera, donde provoca procesos de descomposición, pudiendo ser anual o perenne. Produce pudrición blanca mediante la degradación de los componentes de la pared celular gracias a enzimas modificadoras de lignina (Salazar, 2014; Ra et al., 2016, como se citó en Solórzano Orellana, 2017).

2.2.3. Clasificación taxonómica

Tabla 1

Clasificación taxonómica de Ganoderma applanatum

<i>Categoría</i>	<i>Clasificación</i>
<i>Reino</i>	<i>Hongos</i>
<i>División</i>	<i>Basidiomycota</i>
<i>Clase</i>	<i>Agaricomycetes</i>
<i>Orden</i>	<i>Polyporales</i>
<i>Familia</i>	<i>Ganodermataceae</i>
<i>Género</i>	<i>Ganoderma</i>
<i>Especie</i>	<i>Applanatum</i>
<i>Nombre científico</i>	<i>Ganoderma applanatum</i>

Nota. Adaptado de Estudio químico y actividad biológica del hongo *Ganoderma cf. Applanatum* Pers. Pat. En la región Sur del Ecuador (p. 01, por Solórzano Orellana, 2017). Universidad Técnica Particular de Loja.

2.2.4. Ecología

Las especies de *Ganoderma* son saprófitas, es un hongo xilófago que degrada celulosa y lignina. Se usa en la agricultura es una fuente de carbono importante. (Cruz Félix, 2022).

2.2.5. Propiedades

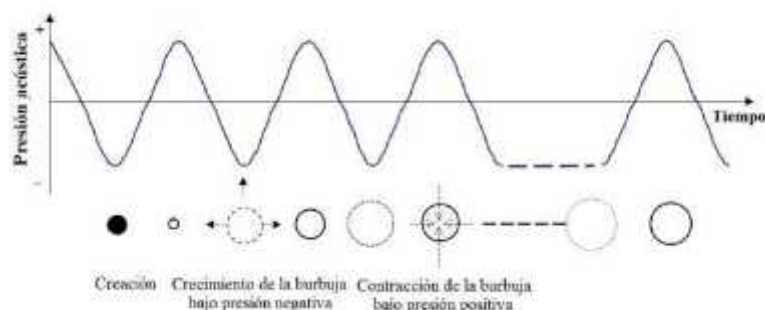
El género *Ganoderma* destaca entre los hongos cultivados por su valor nutricional y farmacéutico. Los basidiomicetos contienen aproximadamente 90 % de agua, y el resto está compuesto principalmente por proteínas, carbohidratos, fibra, grasas, vitaminas y minerales (Wachtel-Galor et al., 2011; Borchers et al., 2008, como se citó en Cruz Félix, 2022). En especies cultivadas se han reportado variaciones en su composición, incluyendo contenidos relevantes de proteínas, minerales y fibra (Morales-Estrada et al., 2018; Mau et al., 2001, como se citó en Cruz Félix, 2022).

2.2.6. Ultrasonido

El ultrasonido corresponde a vibraciones mecánicas que se propagan en forma de ondas sonoras con frecuencias superiores al umbral audible humano, es decir, por encima de los 20 kHz. Cuando estas ondas se transmiten a través de un líquido, generan interacciones con el propio medio y con los gases presentes en él, provocando un proceso denominado cavitación acústica. Este fenómeno se manifiesta por la formación, crecimiento y posterior colapso de pequeñas burbujas dentro del fluido (Ulloa et al., 2013).

Figura 4

Comportamiento de las burbujas durante la cavitación



Nota. Adaptado de *Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos* (p. 2), por Ulloa et al., 2013, *Revista Fuente Nueva Época*, 4(14).

2.2.7. Frecuencias de ultrasonido según aplicación en tecnología alimentaria

Según Chemat et al. (2011), el ultrasonido acelera diversos procesos en la industria alimentaria, permitiendo realizarlos en menor tiempo y con mayor eficiencia que los métodos convencionales. Su aplicación reduce costos, consumo energético y etapas posteriores de tratamiento, además de mejorar la pureza del producto. Se utiliza en procesos como congelación, corte, secado, esterilización y extracción, destacando por optimizar la mezcla y la transferencia de masa, disminuir gradientes térmicos y aumentar la productividad. Sus efectos se atribuyen principalmente a la cavitación y a la mejora en la transferencia de masa, posicionándolo como una tecnología prometedora en la ingeniería alimentaria moderna.

Tabla 2

Frecuencias de ultrasonido según aplicación en tecnología alimentaria

Rango de Frecuencia	Tipo de Ultrasonido	Nivel de Intensidad	Aplicaciones en el artículo	Ejemplos específicos mencionados
---------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------	----------------------------------

20 – 50 kHz	Baja frecuencia	Alta potencia	Cavitación intensa, desgasificación, de polimerización	Desgasificación en bebidas, estructuras cavitacionales (p. 4)
20 kHz	Baja frecuencia	Alta potencia	Inactivación microbiana, de polimerización, corte	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Bacillus spp.</i> , corte de alimentos (p. 10, 11)
21.8 kHz	Baja frecuencia	Alta potencia	Secado asistido por ultrasonido	Reactor fluidizado para secado (p. 7)
24 kHz	Baja frecuencia	Alta potencia	Termosonicación (TS)	Inactivación de <i>Listeria innocua</i> en leche (p. 11)
25 kHz	Baja frecuencia	Media–alta potencia	Inactivación microbiana en zumos	<i>Alicyclobacillus</i> en zumo de manzana (p. 11)
40 kHz	Frecuencia media-baja	Potencia moderada	Ablandamiento de carne	Sonicación de músculo bovino (p. 7)
67 kHz	Frecuencia media	Potencia controlada	Limpieza y mejora antibiótica en biofilms	Eliminación de <i>Pseudomonas</i> y <i>E. coli</i> (p. 13)
20 – 80 kHz	Baja frecuencia	Alta potencia	Envejecimiento acelerado de bebidas alcohólicas	Vino y whisky (p. 8)
1500 Hz (1.5 kHz)*	Baja frecuencia acústica	Baja potencia	Descongelación asistida	Bloques de bacalao (p. 6)
500 kHz	Alta frecuencia	Potencia moderada	Descongelación por relajación acústica	Carne y pescado (p. 6)
500 kHz	Alta frecuencia	Alta potencia	Sonicación en zumo de naranja	Inactivación microbiana (p. 11)

Nota. La frecuencia de 1500 Hz no pertenece al rango ultrasónico (>20 kHz), pero se reporta en el estudio dentro de procesos de descongelación asistida acústicamente (Chemat et al., 2011).

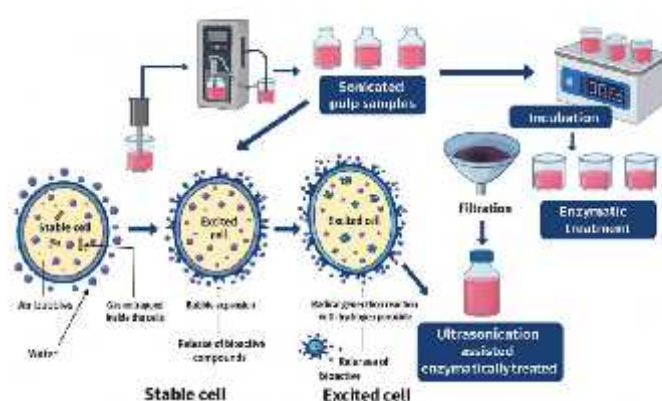
2.2.8. Métodos de extracción de compuestos bioactivos

Según Adithya et al. (2026), el estudio evaluó cómo el Tratamiento Enzimático Asistido por Ultrasonido (USEZT) mejora el contenido de compuestos bioactivos y biomacromoléculas en la pulpa de jamun. Asimismo, se destacó su potencial de industrialización debido a la alta perecibilidad y sensibilidad del fruto. La metodología de superficie de respuesta (RSM) permitió analizar los efectos del tratamiento, mientras que el análisis de varianza (ANOVA) confirmó la solidez del modelo predictivo

mediante un alto coeficiente de determinación (R^2). Las condiciones óptimas (25 minutos de sonicación, 20 % de amplitud, 0,45 % de concentración enzimática y 60 minutos de incubación) generaron resultados experimentales cercanos a los valores predichos. La ruptura de la pared celular inducida por ultrasonido, junto con la hidrólisis enzimática, favoreció la retención de fenoles y antocianinas, incrementando la capacidad antioxidante, aunque exposiciones prolongadas promovieron degradación oxidativa.

Figura 5

Mecanismo propuesto de la acción de la sonicación sobre compuestos bioactivos en pulpa de jamun



Nota. Tomado de *Ultrasonication assisted enzymatic treatment for enhanced extraction of bioactive compounds from Jamun (Syzygium cumini) pulp*, por B. S. Adithya et al., 2026, *Discover Food*, 6, 10. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00721-y>. Licencia CC BY-NC-ND 4.0.

2.2.9. Compuestos fenólicos

Según Peñarrieta et al. (2014), los compuestos fenólicos se encuentran ampliamente distribuidos en alimentos de origen vegetal, como frutas, hortalizas, cereales y raíces, y representan, junto con las vitaminas, una fuente importante de antioxidantes en la alimentación humana.

Desde el punto de vista fisiológico, los compuestos fenólicos cumplen funciones esenciales en las plantas. Participan en procesos relacionados con el crecimiento y la reproducción, así como en mecanismos de defensa frente a factores de estrés biótico y abiótico, incluyendo la radiación ultravioleta, el ataque de patógenos y la acción de herbívoros. Además, intervienen en la determinación de características sensoriales de los alimentos, tales como el color, el sabor y la astringencia, lo que evidencia su impacto tanto en la calidad nutricional como en la aceptabilidad del producto. En términos estructurales, los compuestos fenólicos presentan una notable diversidad, lo que ha dado lugar a su clasificación en distintas familias. Entre ellas se encuentran los fenoles simples, los ácidos fenólicos subdivididos en hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos, las cumarinas, los estilbenos, las xantonas, las benzofenonas, las quinonas, las betacianinas, los lignanos, las ligninas y los flavonoides. Estos últimos constituyen uno de los subgrupos más estudiados, e incluyen flavonas, flavonoles, flavanonas, isoflavonas, catequinas y antocianinas, compuestos ampliamente distribuidos en la dieta y asociados con múltiples actividades biológicas. Asimismo, los taninos, clasificados en condensados, hidrolizables y complejos, destacan por su capacidad de interacción con proteínas y por su contribución a propiedades antioxidantes y antimicrobianas. La diversidad estructural de los compuestos fenólicos se explica por su origen biosintético. Su formación ocurre principalmente a través de la vía del ácido shikímico y la ruta de los fenilpropanoides, rutas metabólicas fundamentales que conducen a la generación de una amplia variedad de estructuras con funciones biológicas específicas. Esta base bioquímica sustenta la relevancia de los compuestos fenólicos tanto en la fisiología vegetal como en su impacto nutricional y tecnológico en los alimentos.

Tabla 3

Clasificación de los principales tipos de compuestos fenólicos presentes en alimentos

Grupo principal	Subclasificación	Características estructurales	Compuesto fenólico	Presencia en alimentos
Fenoles simples	Dihidroxifenoles, trihidroxifenoles	Uno o más grupos –OH en un anillo aromático	Catecol, resorcinol	Cereales
Ácidos fenólicos	Hidroxibenzoicos	Anillo aromático + grupo carboxilo (–COOH)	Ácido gálico, protocatequico	Frutas, verduras
	Hidroxicinámicos	Grupo $\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ unido al anillo aromático	Ácido ferúlico, cafeico, p-cumárico	Café, cereales, frutas
Cumarinas	—	Anillo aromático unido a heterociclo con oxígeno	Umbeliferona	Frutas y hortalizas
Estilbenos	—	Dos anillos aromáticos unidos por grupo vinilo	Resveratrol	Uvas
Quinonas	Ubiquinonas, antraquinonas	Sistema diona conjugado	Coenzima Q10	Diversos tejidos vegetales
Lignanós	—	Dímeros derivados de fenilpropanoides	Pinoresinol, sesamina	Granos, semillas
Flavonoides	Flavonas, flavonoles, flavanonas, catequinas, antocianinas	Estructura básica C6-C3-C6	Quercetina, catequina, cianidina	Frutas, verduras, té, vino
Taninos	Condensados, hidrolizables, complejos	Polímeros fenólicos capaces de unirse a proteínas	Proantocianidinas, galotaninos	Uvas, vino, frutos

Nota. Elaboración propia a partir de Peñarrieta et al. (2014).

2.2.10. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se entiende como la capacidad de ciertos compuestos para frenar o evitar procesos oxidativos al neutralizar radicales libres y otras especies reactivas, reduciendo así el estrés oxidativo. Esta propiedad es relevante tanto en sistemas biológicos por su relación con el daño oxidativo implicado en enfermedades

crónicas como en matrices alimentarias, donde contribuye a retrasar reacciones de degradación oxidativa responsables del deterioro de la calidad y la rancidez (Pinela et al., 2024).

2.2.11. Antioxidante

Un antioxidante es una molécula lo suficientemente estable como para donar un electrón a un radical libre descontrolado y neutralizarlo, reduciendo así su capacidad de causar daño. Estos antioxidantes retrasan o inhiben el daño celular principalmente a través de su propiedad de eliminación de radicales libres (Halliwell, 1995).

2.2.12. Métodos de determinación de actividad antioxidante

Existen numerosos métodos espectrofotométricos utilizados para evaluar el potencial antioxidante de alimentos de origen vegetal, debido principalmente a su simplicidad y bajo costo. Sin embargo, se han reportado inconsistencias metodológicas sustanciales entre distintos ensayos. Dada la amplia aplicación de técnicas espectrofotométricas in vitro, existe la necesidad de estandarizar los protocolos actuales o establecer un método de referencia universal (Knez et al., 2025).

2.2.13. Compuestos bioactivos de *Ganoderma*

El género *Ganoderma* es reconocido como una importante fuente de compuestos bioactivos con diversas propiedades biológicas y aplicaciones terapéuticas. Entre los metabolitos más estudiados se encuentran los polisacáridos, triterpenoides, esteroides, proteínas y otros compuestos secundarios que han mostrado actividades antioxidantes, antimicrobianas y antitumorales. Estas moléculas han sido ampliamente investigadas debido a su potencial en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades humanas (Paterson, 2006, pp.1986-1987).

Dentro de estos compuestos, los polisacáridos constituyen uno de los grupos más relevantes, especialmente los β -glucanos presentes en los cuerpos fructíferos y en el

micelio del hongo. Estas macromoléculas presentan estructuras complejas formadas por diferentes monosacáridos, como glucosa, galactosa, mannososa, xilosa y arabinosa, unidos mediante distintos enlaces glucosídicos. La composición, el peso molecular y el grado de ramificación de estos polisacáridos influyen directamente en sus propiedades biológicas (Ferreira et al., 2015, pp.39-40).

Asimismo, los polisacáridos de *Ganoderma* han demostrado una importante actividad antioxidante, relacionada con su capacidad para neutralizar radicales libres y estimular enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peroxidasa, contribuyendo a la protección celular frente al estrés oxidativo (Ferreira et al., 2015, p.39).

Por otro lado, los triterpenoides, particularmente los del tipo lanostano, constituyen otro grupo significativo de compuestos bioactivos en *Ganoderma*. Estos metabolitos han mostrado diversas actividades farmacológicas, incluyendo efectos antiinflamatorios, antihipertensivos, antivirales y anticancerígenos, lo que ha incrementado el interés científico en el estudio de este género como fuente de compuestos funcionales con aplicaciones nutracéuticas y farmacéuticas (Paterson, 2006, pp.1991-1994).

2.2.14. Estrés Oxidativo

El estrés oxidativo es un concepto fundamental en la biología redox y en la investigación biomédica moderna. Este término se introdujo en 1985 para describir las alteraciones que ocurren en los sistemas biológicos cuando se produce un desequilibrio entre los procesos de oxidación y reducción dentro de las células. Dicho desequilibrio implica una alteración del balance redox, el cual es esencial para el mantenimiento de múltiples funciones fisiológicas y metabólicas en los organismos vivos (Sies, 2015, p. (Sies, 2015, p.180).

Desde el punto de vista bioquímico, el estrés oxidativo se define como una condición en la cual existe un predominio de oxidantes sobre los sistemas antioxidantes del organismo. Esta situación conduce a una alteración en los mecanismos de señalización redox y puede generar daño molecular en diferentes biomoléculas celulares. Entre las especies oxidantes más relevantes se encuentran el anión superóxido, el peróxido de hidrógeno y el radical hidroxilo, los cuales se generan principalmente durante el metabolismo aeróbico y pueden reaccionar con lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos (Sies, 2015,p.181).

2.2.15. Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC)

Los compuestos fenólicos constituyen un grupo amplio de metabolitos secundarios presentes en plantas, alimentos y productos derivados, los cuales poseen una o más estructuras aromáticas con grupos hidroxilo. Estos compuestos participan en diversas funciones biológicas y químicas, incluyendo la defensa frente a factores ambientales, la determinación de características sensoriales y, principalmente, su capacidad antioxidante (Singleton et al.,1999,p.152).

En productos de origen vegetal, los compuestos fenólicos representan una de las principales fuentes de antioxidantes naturales. Su actividad antioxidante se relaciona con su capacidad para donar electrones o hidrógeno, neutralizando radicales libres y evitando reacciones de oxidación en sistemas biológicos o alimentarios. Debido a esta propiedad, la cuantificación del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) se utiliza ampliamente como indicador del potencial antioxidante de extractos vegetales y matrices alimentarias (Singleton et al.,1999, pp.152-153).

El contenido de compuestos fenólicos totales se determina generalmente mediante el método colorimétrico basado en el reactivo Folin-Ciocalteu, el cual permite estimar de manera global los compuestos fenólicos presentes en una muestra. Este método se

fundamenta en la reducción de complejos fosfomolibdato fosfotungstato por compuestos fenólicos en condiciones alcalinas, generando un complejo azul cuya intensidad es proporcional a la concentración de sustancias fenólicas presentes (Singleton et al.,1999,pp.160-161).

En este procedimiento, los resultados se expresan comúnmente como equivalentes de ácido gálico (GAE), ya que este compuesto se utiliza como estándar de referencia para establecer la curva de calibración. La cuantificación del TPC permite comparar el contenido relativo de compuestos fenólicos entre diferentes muestras y evaluar el impacto de procesos tecnológicos o condiciones de extracción sobre la recuperación de compuestos bioactivos (Singleton et al.,1999,p.158).

2.2.16. Método DPPH

El método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) es uno de los procedimientos más utilizados para evaluar la actividad antioxidante de compuestos naturales y extractos vegetales. Este método se basa en la capacidad de los antioxidantes para donar electrones o átomos de hidrógeno, neutralizando radicales libres y reduciendo el radical estable DPPH (Brand-Williams et al., 1995,p.25).

El radical DPPH presenta un color violeta intenso y muestra una máxima absorbancia alrededor de 515 nm. Cuando un compuesto antioxidante reacciona con este radical, se produce su reducción a la forma no radical (DPPH-H), lo que provoca una disminución de la absorbancia, fenómeno que puede ser medido espectrofotométricamente para estimar la actividad captadora de radicales libres del extracto o compuesto evaluado (Brand-Williams et al., 1995, p.25).

En este método, la actividad antirradical se determina generalmente midiendo la disminución del radical DPPH en función del tiempo o de la concentración del antioxidante, lo que permite calcular parámetros como la concentración eficiente

necesaria para reducir el 50 % del radical (EC50), indicador ampliamente utilizado para comparar la capacidad antioxidante entre diferentes compuestos o extractos (Brand-Williams et al., 1995, p. 26).

Debido a su rapidez, simplicidad y reproducibilidad, el ensayo DPPH se ha convertido en una técnica ampliamente aplicada en investigaciones sobre compuestos fenólicos, extractos de plantas y hongos medicinales, permitiendo evaluar su potencial antioxidante mediante la capacidad de neutralizar radicales libres (Brand-Williams et al., 1995, p. 30).

2.2.17. Método ABTS

El método ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)) es un ensayo espectrofotométrico ampliamente utilizado para evaluar la actividad antioxidante total de compuestos puros, extractos vegetales y matrices alimentarias. Este método se basa en la generación del radical catión ABTS, el cual es reducido por compuestos antioxidantes capaces de donar electrones o átomos de hidrógeno, produciendo una disminución de la absorbancia que puede ser cuantificada espectrofotométricamente (Re et al., 1999, p. 1231).

El radical ABTS se genera comúnmente mediante la reacción entre ABTS y persulfato de potasio, produciendo un cromóforo de color azul-verdoso con máximos de absorción característicos, especialmente a 734 nm, que permite monitorear la reducción del radical en presencia de antioxidantes (Re et al., 1999, pp. 1231-1232).

Cuando un antioxidante reacciona con el radical ABTS, este se reduce a su forma no radical, lo que provoca la decoloración de la solución. La disminución de la absorbancia se relaciona directamente con la capacidad antioxidante del compuesto evaluado, permitiendo estimar la eficiencia antioxidante mediante la comparación con un

estándar, generalmente Trolox, expresando los resultados como capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) (Re et al., 1999, pp. 1232-1233).

Una de las principales ventajas del método ABTS es que puede aplicarse tanto a antioxidantes hidrofílicos como lipofílicos, lo que lo convierte en una técnica versátil para la evaluación de compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides y otros metabolitos con actividad antioxidante presentes en alimentos y productos naturales (Re et al., 1999, p. 1231).

III. METODOLOGÍA

3.1. Variables e Indicadores de la Investigación

Tabla 4

Operacionalización de variables del proceso de extracción asistida por ultrasonido (UAE) aplicado a

Ganoderma spp.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica / Instrumento	Unidades
Independiente						
Amplitud de sonicación	Magnitud del desplazamiento vibratorio del sonotrodo (peak-to-peak) que controla la intensidad de cavitación.	Porcentaje de amplitud configurado en el UP400St durante cada extracción.	Nivel de amplitud (%; p-p = μm)	Amplitud 30% y 39% (=49 y =63 μm p-p); registro en software Hielscher	Procesador ultrasónico UP400St (24 kHz), sonotrodo S24d7; registro automático	% (y μm p-p aprox.)
Relación solvente/materia prima (S/F)	Proporción de solvente respecto a la masa de sólido que gobierna la transferencia de masa y la difusión.	Cociente entre el volumen/masa de solvente etanólico y la masa de polvo de <i>Ganoderma</i> .	Concentración de biomasa; rango evaluado	S/F: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 (g solvente/g sólido)	Balanza analítica; material volumétrico; control de temperatura (17–18 °C)	g/g (o mL/g)
Energía específica aplicada	Energía ultrasónica normalizada por volumen que recibe el sistema.	E/V calculada a partir de la energía acumulada (Ws) y el volumen de solvente.	Niveles de energía; potencia específica (P/V) asociada	E/V: 25, 50, 75, 100, 125 J·mL ⁻¹ ; potencia específica registrada	UP400St con registro de Ws, W y tiempo; software Hielscher	J·mL ⁻¹ (y W·mL ⁻¹)

Nota. UAE: extracción asistida por ultrasonido; S/F: relación solvente/materia prima; p-p: desplazamiento pico a pico; E/V: energía específica por volumen.

Tabla 5

Operacionalización de las variables dependientes en la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de Ganoderma spp.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica / Instrumento	Unidades
Dependiente	Fracción de masa de extracto recuperada respecto a la masa de materia prima en base seca.	$X_0 = (m_{\text{ext}} / F) \times 100$, con m_{ext} masa seca de extracto y F masa seca alimentada.	Eficiencia global del proceso	Porcentaje de extracción por tratamiento; replicados (n=3)	Secado controlado; gravimetría; balanza analítica	%
Rendimiento de extracción (X_0)						
Fenoles totales (TPC)	Cantidad total de fenoles presentes, estimada por reacción con Folin-Ciocalteu.	Método Folin-Ciocalteu miniaturizado en microplaca (760–765 nm).	Concentración equivalente a ácido gálico; linealidad de curva	mg GAE/g de extracto; curva estándar GA ($R^2 \geq 0.99$)	Lector de microplacas; reactivo Folin; NaOH 0.35 M	mg GAE·g ⁻¹ (extracto)
Actividad antioxidante (DPPH)	Capacidad de ceder electrones/átomos de H para neutralizar DPPH•.	Ensayo DPPH en microplaca: mezcla muestra + DPPH 60 µM; lectura a 520 nm (10 min).	Capacidad de inhibición; potencia antioxidante	(µg·mL ⁻¹); equivalentes (mg GAE/g o µmol TE/g)	Lector de microplacas; tampón Tris 10 mM pH 7.5 / metanol (1:1)	mg GAE·g ⁻¹ o µmol TE·g ⁻¹ ; %

Actividad antioxidante (ABTS)	Capacidad redox para decolorar el radical cation ABTS•.	Ensayo ABTS• (7 mM + 2.45 mM K ₂ S ₂ O ₈ , 16 h); lectura a 734 nm.	Capacidad antioxidante equivalente; cinética de decoloración	mg GAE·g ⁻¹ o μmol TE·g ⁻¹ ; % inhibición; pendiente cinética	Lector de microplacas; preparación estándar de ABTS•	mg GAE·g ⁻¹ o μmol TE·g ⁻¹ ; %
Perfil fenólico (UHPLC/HPLC-DAD-MS)	Conjunto y abundancia relativa de compuestos fenólicos individuales.	Separación y detección por UHPLC-DAD-MS (o HPLC-DAD-MS) de marcadores (p.ej., ácidos ganodéricos).	Identidad y N.º de picos; áreas abundancia relativa de picos; tiempos de retención; espectros	y N.º de picos; áreas (u.a.); compuestos identificados por m/z y UV-Vis	UHPLC-DAD-MS (o HPLC-DAD-MS); estándares externos	(o u.a.; mg·g ⁻¹ (si hay cuantificación)

Nota. TPC: contenido total de compuestos fenólicos; DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil; ABTS: ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico); EAG: equivalentes de ácido gálico; TE: equivalentes de Trolox.

3.2. Método empleado en la investigación

La investigación obedece al enfoque cuantitativo y método experimental, pues ejecutó un conjunto de métodos para estudiar fenómenos, obtener nuevos saberes o rectificar e incorporar saberes anteriores. Asignó variables independientes y dependientes para la prueba de hipótesis (Sampieri et al., 2014).

3.3. Diseño de la Investigación:

3.3.1. Tipo de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, al fundamentarse en la obtención y el procesamiento estadístico de datos expresados en términos numéricos, tales como el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Este enfoque permitió asegurar objetividad en la medición, así como precisión y posibilidad de réplica en los resultados obtenidos.

En relación con el diseño metodológico, la investigación correspondió a un esquema experimental, dado que se intervinieron de manera intencional las variables independientes amplitud, relación sólido/fluido (S/F) y energía específica con el propósito de determinar su influencia sobre las variables dependientes establecidas. El control sistemático de estos factores posibilitó examinar la relación causa-efecto entre las condiciones del proceso y las respuestas observadas.

3.3.2. Nivel de investigación

Explicativo (causal), porque buscó determinar la relación causa-efecto entre las condiciones del ultrasonido y las respuestas del sistema (rendimiento, compuestos fenólicos y actividad antioxidante).

3.3.3. Diseño experimental

Diseño experimental univariado secuencial, ya que: Se evaluó una variable independiente a la vez, siguiendo una secuencia establecida (amplitud → relación sólido/fluido (S/F) → energía específica). En cada etapa experimental, las demás variables se mantuvieron constantes con el fin de evitar interferencias en los resultados. Este procedimiento permitió determinar la influencia individual de cada factor y, posteriormente, optimizar las condiciones del proceso.

Tabla 6

Estructura general del diseño experimental

Fase	Variable independiente	Rango evaluado	Variables controladas	Variable dependiente principal
1	Amplitud (%)	30 y 39	S/F = 10, E = 50 $J \cdot mL^{-1}$	Rendimiento, TPC, AA
2	Relación S/F (g/g)	10–45	A = 39%, E = 50 $J \cdot mL^{-1}$	Rendimiento, TPC, AA
3	Energía específica ($J \cdot mL^{-1}$)	25–125	A = 39%, S/F = 35	Rendimiento, TPC, AA

Nota. Elaboración de datos experimentales

Se estructuró en tres fases secuenciales de optimización univariable. Esta estrategia fue ampliamente utilizada en la optimización de procesos de

extracción, ya que permitió el aislamiento y análisis detallado del efecto individual de cada parámetro crítico.

Fase 1: Evaluación del Efecto de la amplitud de ultrasonido (Screening)

Tabla 7

Niveles codificados de las variables independientes en la evaluación del efecto de la amplitud de ultrasonido

Nº	Variables	Niveles		
		Unidad	-1	+1
X1	Amplitud	%	30	39

Nota. Elaboración de datos experimentales

Tabla 8

Composición del diseño experimental de los 2 tratamientos para la determinación de la amplitud expresados en %

Tratamiento	Niveles codificados	Niveles reales	Replicas
	Amplitud	Amplitud (%)	
1	-1	30	3
2	+1	39	3

Nota. Elaboración de datos experimentales

Fase 2: Evaluación del efecto de la relación S/F (g solvente / g *Ganoderma*)

Tabla 9

Niveles codificados de las variables independientes en la evaluación del efecto de la relación S/F (g solvente / g Ganoderma)

N°	Variables	Niveles								
		Unidad	-1	-0.714	-0.429	-0.143	+0.143	+0.429	+0.714	+1
X1	S/F	(S/F)	10	15	20	25	30	35	40	45

Nota. Elaboración de datos experimentales

Tabla 10

Composición del diseño experimental de los 8 tratamientos para la determinación del S/F expresados en g solvente/ g Ganoderma

Tratamiento	Niveles codificados	Niveles reales	Replicas
	S/F	S/F (g solvente/g <i>Ganoderma</i>)	
1	-1	10	3
2	-0.714	15	3
3	-0.429	20	3
4	-0.143	25	3
5	+0.143	30	3
6	+0.429	35	3
7	+0.714	40	3
8	+1	45	3

Nota. Elaboración de datos experimentales.

Fase 3: Evaluación del efecto de la energía suministrada.

Tabla 11

Niveles codificados de las variables independientes en la evaluación del efecto de la energía suministra (Ws)

N°	Variables	Niveles					
		Unidad	-1	-0.5	0	0.5	1
X1	Energía suministrada	Ws	500	1000	1500	2000	2500

Nota. Elaboración de datos experimentales.

Tabla 12

Composición del diseño experimental de los 5 tratamientos para la determinación de la energía suministrada Ws

Tratamiento	Niveles codificados	Niveles reales		Replicas
	Energía suministrada	Energía suministrada (Ws)		
1	-1	500		3
2	-0.5	1000		3
3	0		1500	3
4	+0.5	2000		3
5	+1	2500		3

Nota. Elaboración de datos experimentales

3.4. Metodología para la prueba de hipótesis

3.4.1. Población, muestra y muestreo

3.4.1.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por especímenes del género *Ganoderma spp.* recolectados en zonas silvestres del distrito de Tambopata, provincia de Tambopata, región Madre de Dios, un área caracterizada por su alta biodiversidad.

3.4.1.2. Muestra

La muestra consistió en cuerpos fructíferos de *Ganoderma spp.*, recolectados en las localidades de San Bernardo, Las Mercedes y Sachavacayoc, identificadas en el plan de investigación aprobado por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). La colecta se realizó en el marco del Contrato de Acceso a los Recursos Genéticos y sus Derivados sin fines comerciales N° CTO-ARG-2023-0004, suscrito con SERFOR, garantizando la legalidad y trazabilidad del material biológico (Anexo 22). Los especímenes fueron verificados y depositados en el Herbario “Alwyn Gentry” de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), bajo los códigos de colecta MHE-001, MHE-002 y MHE-003. Las coordenadas UTM de las muestras fueron las siguientes: MHE-001: E 459251, N 8597161 (San Bernardo) / MHE-002: E 450110, N 8591966 (Las Mercedes) / MHE-003: E 460475, N 8582620 (Sachavacayoc).

3.4.1.3. Muestreo

El muestreo fue de tipo dirigido, seleccionando especímenes representativos en función de su estado de desarrollo e integridad morfológica. Este

procedimiento permitió garantizar la calidad del material para los análisis experimentales. La identidad taxonómica de los ejemplares fue confirmada mediante el diagnóstico emitido por la Clínica de Diagnóstico de Fitopatología y Nematología de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), donde se aisló e identificó a *Ganoderma applanatum* como agente causal de pudrición de madera (Anexo 21).

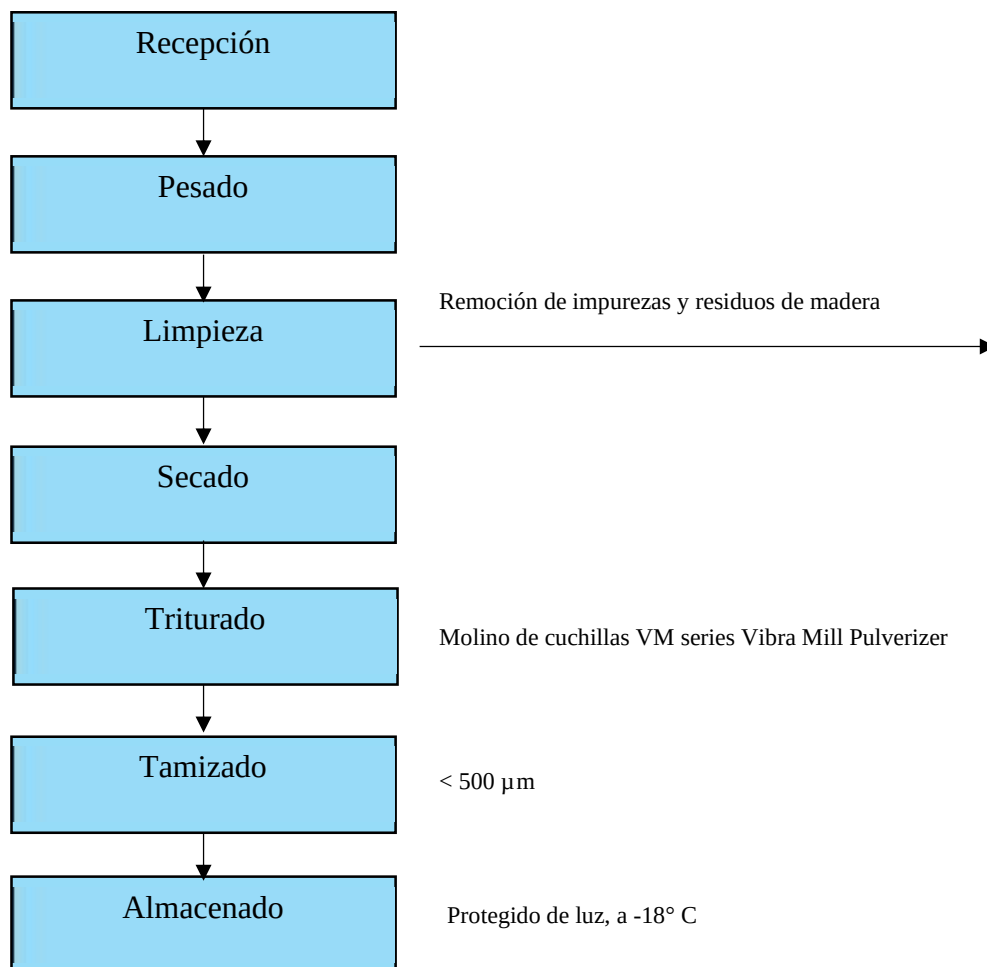
De esta manera, la población, muestra y muestreo quedaron respaldados por constancias oficiales, verificaciones taxonómicas, coordinadas de colecta y autorizaciones legales, las cuales se presentan en los anexos correspondientes.

3.4.2. Preparación y acondicionamiento de materia prima

Los cuerpos fructíferos de *Ganoderma spp.*, una vez recepcionados, fueron sometidos a un proceso de secado a temperatura ambiente, con el fin de preservar sus termolábiles compuestos bioactivos. El material seco se trituró mediante un molino de cuchillas (VM series Vibrating Mill Pulverizer Higao Tech, China) y se tamizó para obtener una fracción de partículas de tamaño homogéneo inferior a 500 μm . Este polvo homogéneo se almacenó en recipientes herméticos protegidos de la luz a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su uso posterior, con el objetivo de garantizar la uniformidad y reproducibilidad de las extracciones.

Figura 6

Diagrama de flujo de la preparación y acondicionamiento de materia prima



3.4.3. Descripción del diagrama de flujo de la preparación y acondicionamiento de materia prima

A. Recepción

Se realizó la recepción de los cuerpos fructíferos de *Ganoderma spp.*, en estado fresco o seco, los cuales fueron recolectados de árboles hospedadores o adquiridos en centros especializados. Durante esta etapa se verificó el estado sanitario del material, la ausencia de contaminación visible y la correcta identificación de la especie.

B. Pesado

El material recibido se pesó en una balanza analítica o granataria con el fin de determinar la cantidad de materia prima disponible. Este valor se utilizó para establecer la relación solvente/materia prima (S/F) en las etapas posteriores del proceso de extracción.

C. Limpieza

Se llevó a cabo la remoción manual y mecánica de impurezas, tales como fragmentos de madera, corteza, polvo o restos de sustrato. Este proceso garantizó que el material estuviera libre de contaminantes externos, preservando la pureza del hongo para las fases posteriores.

D. Secado

El material limpio se secó a temperatura ambiente (20 - 25 °C) o en estufa a baja temperatura (< 40 °C), con el fin de reducir la humedad y evitar el crecimiento microbiano. El secado controlado también contribuyó a preservar los compuestos fenólicos y triterpenoides sensibles al calor.

E. Triturado

Una vez seco, el *Ganoderma spp.* se trituró finamente utilizando un molino de cuchillas modelo VM Series Vibra Mill Pulverizer (Higao Tech, China). El proceso de trituración incrementó la superficie de contacto sólido-líquido, lo que favoreció la eficiencia de extracción durante el tratamiento ultrasónico.

F. Tamizado

El polvo triturado se tamizó hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 500 μm , empleando tamices metálicos estándar. Este procedimiento permitió obtener una fracción homogénea de partículas finas, lo que favoreció una extracción uniforme y reproducible.

G. Almacenado

Finalmente, el polvo tamizado se almacenó en frascos de vidrio o en bolsas herméticas, protegido de la luz y conservado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta medida evitó la degradación de los compuestos bioactivos y garantizó la estabilidad del material hasta su utilización en los ensayos de extracción.

3.4.4. Equipos

- Balanza analítica. Modelo: OHAUS Pioneer PX224. Procedencia: EE. UU. Función: Determinó con alta precisión la masa de las muestras secas ($\pm 0.0001\text{ g}$) para asegurar exactitud en la relación solvente/materia prima (S/F).

- Balanza granataria. Modelo: AND FG-60KBM. Procedencia: Japón. Función: Utilizada para el pesado inicial del material bruto antes del acondicionamiento y del proceso de secado (capacidad: 60 kg).
- Pinzas y bandejas de acero inoxidable. Marca: Surgitech. Procedencia: Alemania. Función: Permitió una manipulación higiénica del material durante la limpieza y el traslado, evitando contaminación cruzada.
- Cepillos de cerdas suaves y espátulas. Marca: Fischer Scientific. Procedencia: EE. UU. Función: Remover impurezas, polvo y residuos de madera adheridos al cuerpo fructífero de *Ganoderma spp.*
- Estufa de secado con convección forzada. Modelo: Memmert UF55. Procedencia: Alemania. Función: Permitió el secado controlado del material a baja temperatura (35 - 45 °C), evitando la degradación de compuestos termolábiles.
- Molino de cuchillas. Modelo: VM Series Vibra Mill Pulverizer. Marca: Higao Tech. Procedencia: China. Función: Trituró los cuerpos fructíferos secos de *Ganoderma spp.* hasta obtener un polvo homogéneo y de tamaño controlado (<500 µm).
- Juego de tamices metálicos (ASTM). Marca: Advantech L3P U.S.A. Standard Test Sieve Procedencia: EE. UU. Función: Separó las fracciones del polvo según tamaño de partícula, garantizando uniformidad (<500 µm) para la extracción.
- Agitador de tamices vibratorio. Modelo: DuraTap DT168. Procedencia: EE. UU. Función: Facilitó el proceso de tamizado mediante vibración controlada, asegurando una distribución homogénea del polvo.

- Procesador ultrasónico (Extractor por ultrasonido) Modelo: UP400St. Marca: Hielscher Ultrasonics. Procedencia: Alemania. Especificaciones: Potencia de salida 400 W, frecuencia 24 kHz, equipado con sonotrodo S24d7 y control digital de amplitud. Función: Facilitó la extracción asistida por ultrasonido (UAE), mediante cavitación acústica que intensificó la liberación de compuestos fenólicos y antioxidantes del *Ganoderma spp.*
- Frascos herméticos de vidrio ámbar. Marca: Schott DURAN Procedencia: Alemania. Función: Almacenó el polvo seco y los extractos obtenidos, protegiéndolos de la luz y la humedad ambiental.
- Congelador horizontal. Modelo: Haier DW-25L262. Procedencia: China. Función: Conservó el material acondicionado y los extractos líquidos a -18 °C, preservando su estabilidad química y actividad antioxidante.

3.4.5. Extracción asistida por Ultrasonido (UAE)

Las extracciones se realizaron con un procesador ultrasónico UP400St (Hielscher Ultrasonics, Alemania), utilizando un sonotrodo cilíndrico S24d7 de 7 mm de diámetro y un área emisora de 0.38 cm², operando a una frecuencia fija de 24 kHz (24 000 vibraciones por segundo). Para disipar el calor generado durante la sonicación y prevenir la degradación térmica de los compuestos bioactivos, todos los experimentos se llevaron a cabo con un sistema de refrigeración por chaqueta, manteniendo la temperatura del medio de extracción entre 17 y 18 °C.

Los parámetros de proceso fundamentales energía acumulada (Ws), potencia neta (W) y tiempo de sonicación (s) fueron monitorizados en tiempo real mediante el software provisto por el fabricante (Hielscher

Software Package). Con el fin de establecer una base comparativa robusta entre los distintos tratamientos, independientemente del volumen o la concentración, los resultados se normalizaron en función de dos parámetros clave: la energía específica (E/V , expresada en $J \cdot mL^{-1}$) y la potencia específica (P/V , expresada en $W \cdot mL^{-1}$).

La optimización del proceso de extracción se abordó mediante un diseño experimental univariado secuencial, estructurado en tres fases consecutivas:

a) Fase 1: Evaluación del efecto de la amplitud. Se evaluó el impacto de la amplitud de la sónica sobre la eficiencia de extracción, utilizando dos niveles: 30% (amplitud peak-to-peak = $49 \mu m$) y 39% (= $63 \mu m$). Esta fase se realizó manteniendo constante una relación solvente/alimento (S/F) de 10 (g/g) y un objetivo de energía específica de $50 J \cdot mL^{-1}$, equivalente a una energía acumulada total de 1000 Ws.

b) Fase 2: Evaluación del efecto de la relación S/F. Se determinó la influencia de la concentración de biomasa (*Ganoderma spp.*) variando la relación S/F en un rango de 10 a 45 (g solvente/g alimento). Para ello, se mantuvo constante el volumen de solvente (20 mL) y la energía específica aplicada ($50 J \cdot mL^{-1}$), ajustando la energía acumulada total en consecuencia para cada masa de sólido.

c) Fase 3: Evaluación del efecto de la energía específica. Utilizando la relación S/F óptima identificada en la Fase 2 (S/F = 35 g/g), se investigó el efecto de la energía suministrada sobre el rendimiento y la posible degradación de compuestos. Se aplicaron cinco niveles de energía específica: 25, 50, 75, 100 y $125 J \cdot mL^{-1}$, lo que correspondió a energías

acumuladas totales de aproximadamente 500, 1000, 1500, 2000 y 2500 Ws, respectivamente.

Tabla 13

Diseño experimental univariado secuencial para la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de compuestos bioactivos de Ganoderma spp.

Fase	Variable evaluada	Rango evaluado	Parámetros constantes
1	Amplitud (%)	30 y 39	S/F: 10 (g/g) Energía Específica: 50 J·mL ⁻¹
2	Relación S/F (g solvente/g sólido)	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45	Amplitud: 39% Energía Específica: 50 J·mL ⁻¹
3	Energía Específica (J·mL ⁻¹)	25, 50, 75, 100, 125	Amplitud: 39% S/F: 35 (g/g)

Nota. S/F. Relación solvente/*ganoderma*. La energía específica aplicada (E/V) se calculó basándose en el volumen de solvente.

3.4.6. Diseño de investigación

El presente estudio se enmarcó dentro de un diseño experimental de acuerdo con Sampieri et al. (2014). Con un enfoque donde se manipuló la variable independiente a la vez para analizar su efecto causal sobre una o más

variables dependientes, controlando rigurosamente las condiciones para minimizar el efecto de otras variables.

El Diseño experimental univariado secuencial para la extracción por ultrasonidos (UAE) de compuestos bioactivos de *Ganoderma spp.*, descrito en la sección 3.4.4. y resumido en la Tabla 13, permitió una determinación sistemática de las variables operativas clave del ultrasonido tales como, amplitud, relación S/F y energía específica sobre las variables respuesta como el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de los extractos de *Ganoderma spp.* Esta metodología minimizó la variabilidad experimental y las interacciones entre factores en las etapas iniciales, facilitando la identificación de tendencias claras y el establecimiento de condiciones óptimas de forma eficiente.

La elección de este enfoque fue adecuada para el estudio, ya que la extracción de compuestos bioactivos de los cuerpos fructíferos mediante UAE es un proceso complejo donde las variables pueden presentar interacciones significativas. Al optimizar una variable a la vez, partiendo de la amplitud, seguido de la relación S/F y finalmente la energía específica, se logró comprender el efecto individual de cada factor sobre las respuestas, sentando una base sólida para futuros estudios de escalamiento.

3.4.7. Variables de la investigación

Con base en el diseño anterior, se definieron las siguientes variables:

3.4.7.1. Variables Independientes

Amplitud de sonicación (%), relación solvente/alimento (S/F, g/g) y energía específica aplicada ($\text{J} \cdot \text{mL}^{-1}$).

3.4.7.2.Variables Dependientes

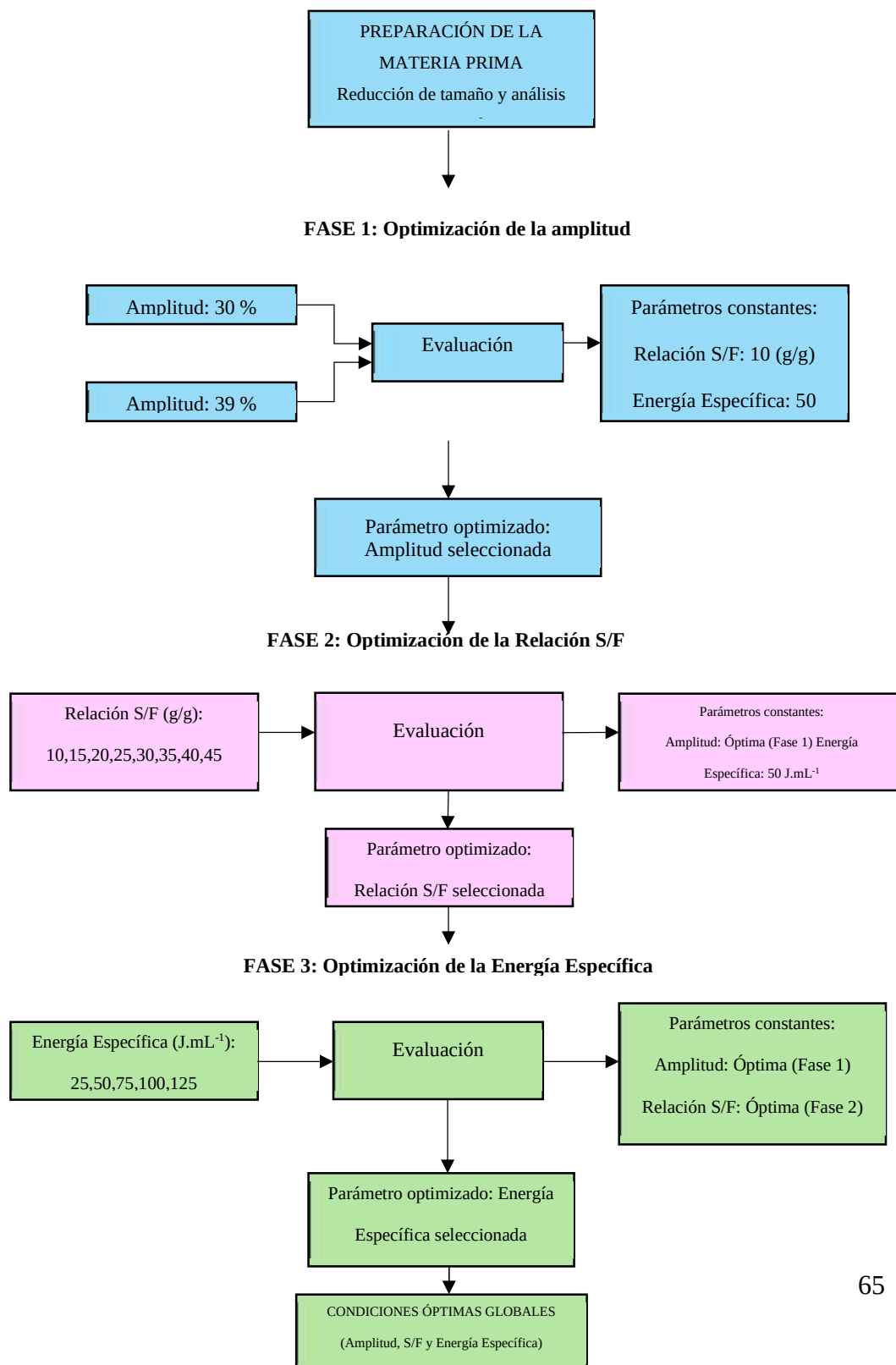
Contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/g extracto), actividad antioxidante (medida mediante los ensayos DPPH y ABTS, expresados como mg EAG/g extracto), perfil fenólico mediante UPLC.

3.4.7.3.Esquema experimental

La estrategia de optimización univariada secuencial empleada en este estudio se resume en la Figura 7. Como Esquema del diseño experimental secuencial para la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de compuestos bioactivos de *Ganoderma spp.* El flujo experimental se inicia con la preparación de la materia prima, seguida de tres fases consecutivas. En cada fase, se varió un único parámetro operativo (amplitud, relación S/F o energía específica) mientras los demás se mantuvieron constantes en base a los resultados de la fase anterior, culminando en la identificación de las condiciones óptimas globales del proceso de UAE para *Ganoderma spp.*

Figura 7

Esquema del diseño experimental secuencial para la extracción asistida por ultrasonido (UAE) de compuestos bioactivos de Ganoderma spp.



3.5. Técnicas e instrumentos empleados

3.5.1. Determinación de caracterización y características fisicoquímicas

La materia prima fue analizada en relación con:

Contenido de humedad: determinado mediante el Método de secado en horno, AOAC 925.10, ASTM D2216.

3.5.2. Método para calcular el rendimiento total (X_0)

El rendimiento global de cada extracción se determinó a partir de la relación entre la masa del extracto recolectado (m_{ext}) y la masa de materia prima alimentada en base seca (F), según la siguiente ecuación (1).

Ecuación (1):

$$x_0 = \frac{m_{\text{ext}}}{F} x^1$$

Donde:

m_{ext} : masa seca del extracto

F : masa de *Ganoderma spp*

3.5.3. Determinación de compuestos polifenólicos en *Ganoderma*

El contenido de compuestos fenólicos (CF) de las muestras fueron medidos por el método de Folin-Ciocalteu rápido y miniaturizado. Se tomó un volumen de 50 μL de la muestra y se mezcló con 50 μL del reactivo de Folin- Ciocalteu (1:5 v/v) en una placa de 96 pocillos, después de 2 min se añadió 100 μL de NaOH (0,35 M) y en un lector de placas Synergy HTX (Biotek, VT, USA) se midió la absorbancia a 760 nm. El contenido de CF fue expresado en mg ácido gálico equivalentes/g de muestra. Las

determinaciones analíticas se realizaron por triplicado. Magalhães et al. (2010).

3.5.4. Análisis de actividad antioxidante

Actividad Antioxidante- Método de DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

La actividad antioxidante de las muestras fueron medidas de acuerdo con el método rápido de alto rendimiento DPPH descrito por Abderrahim et al. (2013) y evaluada por triplicado. Se colocó 10 μ L de la muestra diluidas en agua como antioxidante estándar junto con 200 μ L de solución de trabajo DPPH en una microplaca de 96 pocillos. La solución de trabajo DPPH (60 μ mol) se preparó en tampón metanol-Tris- HCl (10 mmol/L, pH 7,5) (50:50 v/v) y se incubó a ambiente durante 10 minutos. La lectura de absorbancia se realizó a 520 nm utilizando un lector de microplacas multimodal Synergy H1 (Biotek, VT, USA).

3.5.4.1.Método DPPH

Método DPPH – 2,2 diphenil-1-1picrilhidrazilo, los extractos acuosos de *Ganoderma* se colocaron en una placa de 96 pocillos y se mezclaron con 200 μ L de una solución de DPPH (60 μ M en una mezcla de metanol y tampón Tris 10 mM, pH 7.5, en una proporción de 1:1 v/v). La absorbancia se midió a 520 nm después de 10 minutos de incubación a 25 °C en un lector de microplacas Synergy H1 (Biotek, VT, EE. UU.), y se utilizó para calcular la capacidad antioxidante, expresada como el índice de capacidad de inhibición (SCI) Abderrahim et al. (2013)

Cortés-Avendaño et al. (2024)). La capacidad antioxidante se expresó como mg EAG/g muestra calculada a partir de la curva estándar de GA [0 – 20 mg/L , R² =0.995].

3.5.4.2.Método ABTS

La capacidad antioxidante de las muestras fueron medidas de acuerdo con el método rápido de alto rendimiento ABTS+ descrito por Cortés-Avendaño et al.(2024) y se evaluó por triplicado. Se preparó una solución stock de ABTS+ radical, en una habitación oscura se hizo reaccionar ABTS+ (7 mmol/L) y persulfato de potasio (2,45 mmol/L) durante 16 horas a temperatura ambiente. Se preparó una solución de trabajo ABTS (0.07 Mm o 10 µL / mL) a partir de la solución stock con solución de etanol, agua desionizada (1:1 v/v). Para el método, se mezclaron 10 µL de muestras diluidas como antioxidante estándar con 200 µL de la solución de trabajo de radicales ABTS+ en una microplaca de 96 pocillos. La mezcla se incubó durante 30 min a temperatura ambiente y la absorbancia a 734 nm fue medida utilizando un lector de microplacas multimodal Synergy H1 (Biotek, VT, USA.). Método ABTS Para producir el radical catiónico ABTS (ABTS^{•+}), se mezcló una solución de ABTS de 7 mM con 2.45 mM de persulfato de potasio en agua, dejando la mezcla en reposo en la oscuridad a temperatura ambiente durante 16 horas. La solución de ABTS^{•+} se diluyó en PBS (5 mM, pH 7.4) hasta alcanzar una absorbancia de 0.7-0.8 a 734 nm. Para la reacción, se mezcló 10 µL de los extractos de *Ganoderma* diluidos en una placa de 96 pocillos durante 1 minuto, después de lo

cual se midió la absorbancia a 734 nm en un lector de microplacas Synergy H1 (Agilent, EE. UU.) en modo cinético durante 10 minutos. La capacidad antioxidante de las muestras se cuantificó como mg EAG/g, utilizando una curva de calibración de GA [0 – 30 mg/L , $R^2 = 0.9923$] (Condezo-Hoyos et al., 2009); (Cortés-Avendaño et al., 2024).

Cromatografía líquida de ultra alta resolución (UHPLC–DAD–MS)

Los compuestos fenólicos presentes en los extractos de *Ganoderma spp.* fueron identificados mediante un sistema ACQUITY H-Class UHPLC (Waters Corp., Milford, MA, USA), acoplado a un detector de arreglo de diodos (PDA 2998) y a un espectrómetro de masas de cuadrupolo simple (QDa). La separación cromatográfica se llevó a cabo en una columna Kinetex C18 (100 × 4.6 mm, 2.6 µm; Phenomenex), mantenida a 40 °C.

La fase móvil estuvo compuesta por (A) agua con 0,1% de ácido acético y (B) acetonitrilo con 0,1% de ácido acético. El gradiente de elución se programó de la siguiente manera: 5% B (0-0,5 min), 5-100% B (0,5-15,5 min), 100% B (15,5-17,5 min), 100-5% B (17,5-18 min) y 5% B (18-21 min) para el reequilibrio de la columna. El flujo se estableció en 0,5 mL/min y el volumen de inyección fue de 3 µL.

La detección se realizó mediante DAD en un rango de 210-800 nm (monitoreando específicamente a 254, 280, 325 y 350 nm) y mediante espectrometría de masas en modos de ionización positiva y negativa, con un rango de masa de 100-600 m/z. La detección e integración de

picos se efectuó utilizando el software Waters Empower 3, con un umbral de 1.500 AU. La identificación tentativa de los compuestos se basó en: (1) precisión de masa (< 5 ppm de diferencia respecto al m/z teórico), (2) espectros UV-Vis característicos y (3) comparación con datos reportados en la literatura para especies del género *Ganoderma*.

3.5.4.3. Evaluación de la sostenibilidad del proceso mediante Path2Green

La sostenibilidad del proceso de extracción con agua subcrítica (SWE) aplicado a *Ganoderma spp.* fue evaluada mediante la métrica Path2Green propuesta por de Souza Mesquita et al. (2024). Esta metodología analiza la adhesión del proceso a 12 principios de extracción verde, considerando dimensiones ambientales, sociales y económicas. Los principios evaluados fueron: (1) biomasa, (2) transporte, (3) pretratamiento, (4) solventes, (5) escalado, (6) purificación, (7) rendimiento, (8) postratamiento, (9) energía, (10) aplicación, (11) revalorización y (12) gestión de residuos.

Cada principio fue calificado en una escala de -1 a $+1$, donde valores cercanos a $+1$ indican mayor cumplimiento de los criterios de extracción sostenible. Se aplicaron factores de ponderación diferenciados: ambiental (3,0), social (2,0) y económico (1,0).

La evaluación se realizó mediante la aplicación móvil Path2Green. El pictograma resultante permite visualizar el puntaje final y el desempeño del proceso de extracción, así como identificar puntos críticos (“red flags”) en los que el proceso puede optimizarse en términos de sostenibilidad.

El puntaje final se convirtió a equivalentes de g CO₂/g biomasa mediante la siguiente ecuación de regresión (Ecuación 2):

$$y \left(\frac{gC}{g_b} \right) = -1079,3 S_p + 721,3 \quad (2)$$

3.5.5. Procedimiento de recolección de datos

3.5.5.1. Técnicas de análisis de resultados

3.5.5.1.1. Análisis del rendimiento total (X₀)

A. Técnica de procesamiento:

- Se recopilaron los valores de la masa del extracto recolectado y la masa de materia prima en base seca.
- Se aplicó la ecuación de rendimiento global en un software estadístico en Excel para calcular el porcentaje de extracción para cada experimento.

B. Técnica de análisis de resultados:

- Previo a la aplicación de pruebas estadísticas en el análisis de los resultados, se realizó un análisis descriptivo para comprender la distribución y variabilidad de los datos.
- Se realizaron medidas de promedio y su respectiva desviación estándar. Con ello se elaboraron gráficos de dispersión para detectar tendencias y valores atípicos.

3.5.5.1.2. Cantidad total de fenoles (Folin-Ciocalteu)

A. Técnica de procesamiento:

- Se generó una curva de calibración con ácido gálico a diferentes concentraciones.
- Los valores de absorbancia obtenidos a 760 nm se interpolaron en la ecuación de la recta de calibración.
- Se calcularon los equivalentes de ácido gálico (EAG g⁻¹) en cada muestra.

B. Técnica de análisis de resultados:

- Se evaluó la linealidad de la curva de calibración mediante regresión lineal.
- Se realizaron pruebas de normalidad a los datos obtenidos.
- Se emplearon un ANOVA para determinar diferencias entre muestras.
- Se aplicó regresión lineal para evaluar la relación entre la concentración de fenoles totales y otras variables del estudio.

3.5.5.1.3. Determinación de actividad antioxidante (DPPH, ABTS)

A. Técnica de procesamiento:

- La actividad antioxidante mediante los métodos DPPH y ABTS se calculó en función de la disminución de la absorbancia a 520 nm y 734 nm, respectivamente.
- Se expresó en mg EAG/g.

B. Técnica de análisis de resultados:

- Se realizó un análisis descriptivo de los datos (media, desviación estándar).

- Se aplicó un ANOVA de medidas repetidas para comparar los métodos de análisis de actividad antioxidante.

C. Tipo de Diseño Experimental:

- Con los datos obtenidos se realizó una ANOVA en Jamovi, seguido de prueba de Tukey si correspondía. Adicionalmente, se exploró el ajuste de modelos de regresión lineal o cuadrática cuando se identifiquen tendencias progresivas entre energía y las variables de respuesta, utilizando regresión de Jamovi. En OriginPro 2024, se graficaron los datos con curvas de ajuste. En todas las etapas, las variables de respuesta fueron relacionadas al rendimiento de extracción (%), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC, mg EAG/g), actividad antioxidante (DPPH y ABTS) y, en todos los extractos se verificaron de manera cualitativa el perfil fenólico mediante UHPLC-DAD-MS. Todos los análisis se realizaron por triplicado para asegurar la reproducibilidad y precisión experimental.

D. Variables Independientes (Factores de estudio):

- Solución etanólica al 50 % S/F, amplitud y energía.

E. Variables Dependientes (Medidas de respuesta):

- Rendimiento del extracto (%) (determinación gravimétrica).
- Contenido de compuestos fenólicos (EAG g⁻¹) (Folin-Ciocalteu).
- Actividad antioxidante (μmol TE/g) (DPPH, ABTS).

- Perfil de principales compuestos fenólicos por HPLC-DAD-MS.

F. Diseño Estadístico y Análisis de Datos

- Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en Jamovi, seguido de la prueba de Tukey cuando correspondió. Adicionalmente, se evaluó el ajuste de modelos de regresión lineal o cuadrática cuando se identificaron tendencias progresivas entre la energía y las variables de respuesta, utilizando las herramientas de regresión del mismo software. Finalmente, los datos se graficaron en OriginPro 2024, incluyendo las respectivas curvas de ajuste.
- En todas las etapas, las variables de respuesta estuvieron relacionadas con el rendimiento de extracción (%), el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC, mg EAG/g) y la actividad antioxidante (DPPH y ABTS). Asimismo, en todos los extractos se verificó cualitativamente el perfil fenólico mediante HPLC-DAD-MS. Todos los análisis se realizaron por triplicado para garantizar la reproducibilidad y precisión experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 14

Composición proximal de Ganoderma applanatum.

Muestra	Ensayos	Resultados
Ganoderma	Determinación de humedad	10,02 ± 0,03 %
	Determinación de grasa cruda	0,46 ± 0,03 %
	Determinación de proteína	2,46 ± 0,05 %
	Cruda	
	Determinación de cenizas	0,94 ± 0,02 %
	Determinación de carbohidratos totales	86,12 ± 0,12 %

Nota. Los valores se expresan como media ± desviación estándar (n = 3). Datos obtenidos del Informe de Ensayo N.º 07 del análisis proximal de *Ganoderma applanatum* realizado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (2024).

El análisis proximal del *Ganoderma applanatum*, reportado en el informe de ensayo mostró valores bajos de humedad (10,02 %), grasa (0,46 %), proteína (2,46 %) y cenizas (0,94 %), mientras que los carbohidratos alcanzaron el 86,12 %. Estos resultados describen un producto intensamente deshidratado y predominantemente compuesto por carbohidratos, característica común en extractos o polvos de hongos medicinales procesados. La baja humedad observada asegura estabilidad microbiológica, mientras que las fracciones proteica y lipídica son mínimas respecto al total de sólidos.

Según Tirado et al.(2015), los métodos tradicionales de secado (mufla o estufa) y los analizadores de humedad de halógeno producen valores estadísticamente equivalentes de humedad, independientemente del alimento evaluado, aunque con

tiempos de análisis muy distintos. El artículo demuestra que no existen diferencias significativas entre métodos al determinar humedad en múltiples matrices, incluso en alimentos de alta humedad como ahuyama o mango. Esto significa que la humedad de 10 % obtenida en el *Ganoderma* analizado puede considerarse confiable, pues proviene de un método AOAC basado también en secado hasta peso constante, técnica equivalente en principio al método de estufa utilizado por los autores. Además, describen que factores como peso de muestra, manipulación y condiciones ambientales pueden introducir variaciones, lo que explica pequeñas diferencias entre lotes sin comprometer la validez del resultado. En consecuencia, la baja humedad del *Ganoderma* se interpreta como un valor consistente con un proceso de deshidratación adecuado, coherente con la estabilidad reportada en productos secos evaluados en el estudio.

Gregorio et al. (2016), compararon los métodos Kjeldahl y Dumas para la determinación del contenido de proteína en 24 tipos de alimentos. Los autores concluyeron que no existen diferencias significativas entre ambos métodos; sin embargo, señalaron que el método Kjeldahl presenta mayor dispersión en los resultados y una mayor susceptibilidad al error humano, debido a que requiere digestión ácida, una manipulación más extensa y un mayor número de puntos críticos dentro del procedimiento. Estos hallazgos permiten interpretar el valor de proteína cruda del *Ganoderma* (2,46 %) como un resultado influenciado por las limitaciones inherentes del método Kjeldahl: el artículo indica que su variabilidad puede generar diferencias pequeñas entre muestras, y además que la metodología presenta mayor imprecisión en matrices complejas. Lo relevante es que, si el análisis se realizara mediante un método automatizado como Dumas,

probablemente el valor obtenido sería equivalente, ya que ambos métodos muestran una correlación cercana a 1,0 según el análisis estadístico de los autores. En suma, el bajo contenido proteico encontrado es coherente con las observaciones de Gregorio et al.(2016), quienes validan la confiabilidad del método, aunque advierten sobre su sensibilidad operativa.

4.1. Determinación de caracterización y características fisicoquímicas.

Tabla 15

Determinación de Humedad de Ganoderma spp.

Muestra	Peso final de la		
	muestra (material	Peso de la muestra	Materia seca (%)
	de vidrio o cápsula	(%)	
	+ muestra) (g)		
R1	100%	88.559	11.441
R2	100%	88.252	11.748
R3	100%	88.310	11.421

Nota. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

Los resultados de la determinación de humedad del material analizado de *Ganoderma applanatum* se presentan en la Tabla 15. Los tres replicados evaluados mostraron valores de materia seca de 11.441 %, 11.748 % y 11.421 %, respectivamente, lo que corresponde a un contenido promedio de 11.54 % de materia seca y aproximadamente 88.46 % de humedad. La baja variabilidad observada entre las réplicas indica una adecuada repetibilidad del método empleado. Este alto contenido de humedad es característico de los cuerpos fructíferos frescos de hongos basidiomicetos, los cuales presentan una elevada

proporción de agua en su estructura celular. La determinación de este parámetro resulta relevante, ya que el contenido de humedad influye directamente en la estabilidad del material, en los procesos de conservación y en la eficiencia de extracción de compuestos bioactivos en etapas posteriores del estudio.

Composición proximal y condición del material de estudio

La composición proximal de *Ganoderma applanatum* evidenció un material con baja humedad (10.02%), grasa cruda (0.46%), proteína cruda (2.46%) y cenizas (0.94%), mientras que los carbohidratos representaron la fracción mayoritaria (86.12%). Este patrón describe un producto previamente deshidratado, con predominio de componentes estructurales y de reserva, condición favorable para su conservación y para la estandarización de procesos extractivos posteriores. En el género *Ganoderma* se ha descrito que los cuerpos fructíferos están constituidos aproximadamente por 90% de agua en estado fresco y que, una vez secos, concentran carbohidratos, fibra, compuestos fenólicos, triterpenoides y proteínas en proporciones variables según la especie, el sustrato y el método de procesamiento; por ello, el perfil observado en la muestra analizada resulta tecnológicamente plausible dentro del comportamiento esperado para este grupo fúngico (Plosca et al., 2025).

Debe precisarse, no obstante, que la Tabla 14 y la Tabla 15 no describen la misma condición física de la muestra. Mientras la composición proximal corresponde a un producto seco, la determinación de humedad de la Tabla 15 mostró un promedio de 11.54% de materia seca y 88.46% de humedad, valor típico de cuerpos fructíferos frescos. En términos metodológicos, ambos hallazgos son compatibles: el primero caracteriza el material estabilizado para análisis composicional y el segundo

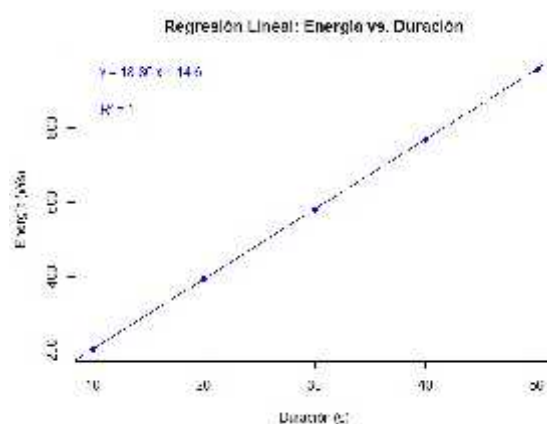
documenta el elevado contenido de agua del hongo antes del secado, condición que incide directamente en la estabilidad microbiológica, la conservación y la eficiencia de extracción de metabolitos bioactivos. La literatura reciente sobre *Ganoderma lucidum* respalda esta interpretación al indicar que el cuerpo fructífero fresco contiene cerca de 90% de agua, mientras que la fracción seca concentra los principales compuestos de interés biológico (Plosca et al., 2025).

El creciente interés por los compuestos bioactivos de origen natural ha impulsado el desarrollo de investigaciones orientadas a mejorar los métodos de extracción que permitan recuperar estos metabolitos con mayor eficiencia y estabilidad. Entre los compuestos más estudiados se encuentran los compuestos fenólicos, los cuales desempeñan un papel fundamental en la actividad antioxidante de diversos alimentos y organismos biológicos. En este contexto, se ha reportado que los metabolitos bioactivos presentes en matrices naturales poseen diversas propiedades biológicas, entre ellas actividad antioxidante, antiinflamatoria y antimicrobiana, lo que ha incrementado su importancia en las áreas de nutrición, farmacología y biotecnología (Bhadange et al., 2024).

Resultado de Determinación de compuestos polifenólicos en *Ganoderma spp.*

Figura 8

Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción.

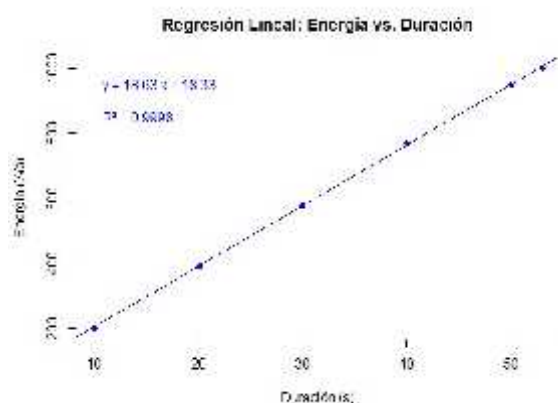


Nota. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

La Figura 8 muestra la relación entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción. Los resultados evidencian una relación lineal positiva entre ambas variables, indicando que el incremento del tiempo de sonicación se traduce en un aumento proporcional de la energía transferida al sistema. El modelo de regresión lineal obtenido ($y = 18.86x + 14.6$) presenta un coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 1$), lo que sugiere que la variación de la energía aplicada se explica prácticamente en su totalidad por la duración del tratamiento. Este comportamiento confirma la estabilidad operativa del sistema ultrasónico empleado y evidencia que el control del tiempo de sonicación constituye un factor determinante en la cantidad de energía suministrada durante el proceso de extracción.

Figura 9

Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía acumulada durante el proceso de extracción.

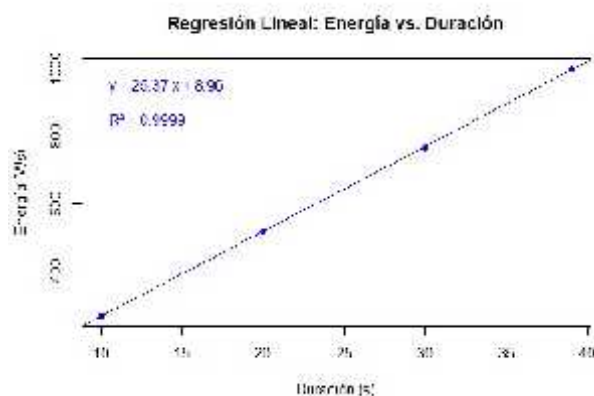


Nota. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

La Figura 9 muestra la relación entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía acumulada durante el proceso de extracción. Los resultados evidencian una relación lineal positiva entre ambas variables, indicando que el incremento del tiempo de sonicación genera un aumento proporcional de la energía transferida al sistema. El modelo de regresión lineal obtenido ($y = 18.63x + 18.33$) presenta un coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 0.9998$), lo que indica que prácticamente la totalidad de la variación de la energía acumulada se explica por la duración del tratamiento. Este comportamiento sugiere una alta estabilidad en las condiciones operativas del equipo ultrasónico y confirma que el tiempo de sonicación constituye un factor determinante en la cantidad de energía aplicada durante el proceso de extracción.

Figura 10

Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción.

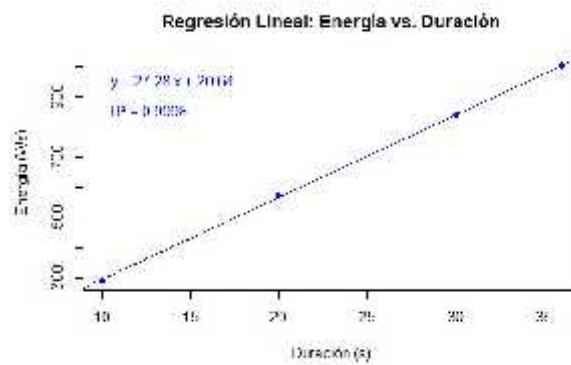


Nota. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

La Figura 10 muestra la relación entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción. Los resultados evidencian una relación lineal positiva entre ambas variables, lo que indica que el incremento del tiempo de sonicación genera un aumento proporcional de la energía transferida al sistema. El modelo de regresión lineal obtenido ($y = 25.37x + 8.96$) presenta un coeficiente de determinación muy elevado ($R^2 = 0.9999$), lo que demuestra un ajuste prácticamente perfecto del modelo y confirma que la variación de la energía aplicada se explica casi totalmente por la duración del tratamiento ultrasónico. Este comportamiento refleja una alta estabilidad operativa del sistema experimental y evidencia que el tiempo de sonicación constituye un factor determinante en la cantidad de energía suministrada durante el proceso de extracción.

Figura 11

Relación lineal entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción.

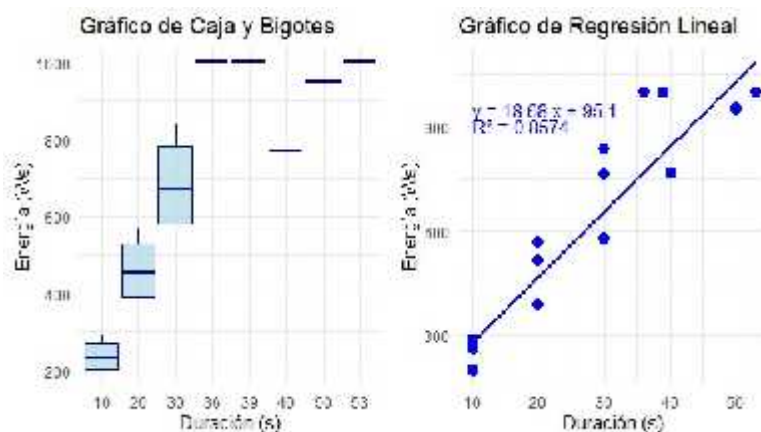


Nota. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

La Figura 11 muestra la relación entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada durante el proceso de extracción. Los resultados evidencian una relación lineal positiva entre ambas variables, indicando que el incremento del tiempo de sonicación produce un aumento proporcional de la energía transferida al sistema. El modelo de regresión lineal obtenido ($y = 27.28x + 20.64$) presenta un coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 0.9998$), lo que evidencia un ajuste casi perfecto del modelo y confirma que la variación de la energía aplicada se explica prácticamente en su totalidad por la duración del tratamiento ultrasónico. La pendiente de la recta ($27.28 \text{ W} \cdot \text{s/s}$) representa la potencia efectiva del sistema ultrasónico durante el proceso experimental. Este valor, superior al observado en las gráficas previas, sugiere una configuración de mayor intensidad energética, lo que podría favorecer procesos de extracción más eficientes en periodos de sonicación relativamente cortos.

Figura 12

Distribución de la energía aplicada en función de la duración del tratamiento ultrasónico y relación lineal entre ambas variables.



Nota. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

La Figura 12 presenta dos representaciones complementarias del comportamiento de la energía aplicada durante el tratamiento ultrasónico en función de la duración del proceso. El diagrama de caja y bigotes muestra la distribución de los valores de energía para los distintos tiempos de sonicación, evidenciando un incremento progresivo de la energía conforme aumenta la duración del tratamiento. Por otro lado, el gráfico de regresión lineal confirma la existencia de una relación positiva entre ambas variables, descrita por el modelo $y = 18.68x + 95.1$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.8574$. Este valor indica una relación lineal moderadamente fuerte entre la duración del tratamiento ultrasónico y la energía aplicada. En conjunto, estos resultados sugieren que el tiempo de sonicación influye de manera significativa en la energía transferida al sistema, lo que puede repercutir directamente en la eficiencia del proceso de extracción de compuestos bioactivos presentes en *Ganoderma spp.*

4.2. Resultado de actividad antioxidante

Tabla 16

Resultados del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) obtenidos durante el proceso de extracción asistida por ultrasonido.

Fase	Experimento	Amplitud (%)	S/F	Tiempo de sonicación (S)	Energía (Ws)	Energía específica (J/mL)	TPC (mg EAG/100 g <i>Ganoderma</i>)
I	1	30	10	53	1001	50.05	257.99
	2	39	10	39	1001	50.05	252.96
	3	30	10	53	1001	50.05	257.99
	5	30	15	51	1002	50.1	353.21
	6	30	20	52	1002	50.1	450.76
II	7	30	25	52	1002	50.1	504.12
	8	30	30	51	1001	50.05	601.46
	9	30	35	51	1001	50.05	677.86
	10	30	40	51	1002	50.1	671.98
	11	30	45	52	1001	50.05	733.57
III	12	30	35	24	501.67	25.08	694.17
	13	30	35	52	1001.33	50.07	679.74
	14	30	35	77	1501.00	75.05	873.09
	15	30	35	104	2001.33	100.07	881.37
	16	30	35	130	2502.00	125.10	689.27

Nota. TPC: contenido total de compuestos fenólicos expresados como equivalentes de ácido gálico (EAG). S/F: relación sólido-solvente. *Elaboración propia a partir de datos experimentales.*

Los resultados muestran que el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) aumentó progresivamente con el incremento de la relación sólido-solvente durante la fase II del estudio. Asimismo, en la fase III se observó un incremento significativo del TPC con el aumento de la energía específica aplicada, alcanzándose el valor máximo de 881.37 mg EAG·100 g⁻¹ a una energía específica de 100.07 J·mL⁻¹.

De la fase I. Se realizaron pruebas iniciales para verificar la reproducibilidad del sistema y el efecto de amplitud. La amplitud de 30 % y 39 % con relación S/F = 10 mostraron valores similares de TPC (255 mg EAG/100 g), lo que sugiere que la amplitud no tuvo un efecto marcado en esta etapa bajo esas condiciones.

En la fase II. A medida que la relación S/F aumenta (más solvente por unidad de masa de hongo), el TPC se incrementa significativamente: De 257.99 mg (S/F = 10) hasta 733.57 mg (S/F = 45). Este incremento demuestra que la dilución favorece la transferencia de masa y la difusión de compuestos fenólicos, hasta un punto cercano al equilibrio (S/F = 40–45).

En la fase III Al mantener constante la amplitud (30 %) y la relación S/F (35), el incremento del tiempo y la energía de sonicación aumenta el TPC hasta un máximo (881 mg EAG/100 g a 2001 Ws / 100 J/mL). Sin embargo, a la energía más alta (2502 Ws, 125 J/mL), el TPC disminuye a 689 mg EAG/100 g, lo que sugiere posible degradación térmica o polimerización de los fenoles por exceso de energía. El parámetro más influyente en la liberación de compuestos fenólicos fue la energía total suministrada, seguida de la relación solvente/materia prima (S/F).

La amplitud del ultrasonido (30–39 %) no mostró variaciones significativas en la eficiencia, indicando que el sistema opera en una zona estable de cavitación.

El punto óptimo de extracción se alcanzó alrededor de 100 J/mL de energía específica, después del cual la eficiencia disminuye por probable oxidación o degradación térmica.

Estos resultados orientan a que el ultrasonido es una técnica efectiva para potenciar la extracción de compuestos fenólicos del *Ganoderma spp.*, siempre que se controle el aporte energético.

Tabla 17

Resultados de la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido.

Fase	Experimento	Amplitud (%)	S/F	Tiempo de sonicación (S)	Energía (Ws)	Energía específica (J/mL)	ABTS (mg EAG/ g <i>Ganoderma</i>)	DPPH(mg EAG/ g <i>Ganoderma</i>)
I	1	30	10	53	1001	50.05	7.33	5.34
	2	39	10	39	1001	50.05	7.29	5.32
	3	30	10	53	1001	50.05	7.33	5.34
	5	30	15	51	1002	50.1	15.05	11.20
	6	30	20	52	1002	50.1	20.90	16.06
II	7	30	25	52	1002	50.1	25.93	19.97
	8	30	30	51	1001	50.05	27.63	20.19
	9	30	35	51	1001	50.05	31.33	23.98
	10	30	40	51	1002	50.1	35.36	27.63
	11	30	45	52	1001	50.05	42.04	30.87
	12	30	35	24	501.67	25.08	33.01	24.64
	13	30	35	52	1001.33	50.07	31.63	24.43
III	14	30	35	77	1501.00	75.05	43.23	32.50
	15	30	35	104	2001.33	100.07	44.37	32.69
	16	30	35	130	2502.00	125.10	32.53	24.23

Nota. ABTS: capacidad antioxidante determinada mediante el radical ABTS. DPPH: capacidad antioxidante determinada mediante el radical DPPH. S/F: relación sólido-solvente. EAG: equivalentes de ácido gálico. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

Los resultados muestran que la capacidad antioxidante de los extractos aumentó progresivamente con el incremento de la relación sólido-solvente durante la fase II del estudio. Asimismo, en la fase III se observó un incremento en los valores de ABTS y DPPH con el aumento de la energía específica aplicada, alcanzándose los valores máximos de 44.37 mg EAG·g⁻¹ y 32.69 mg EAG·g⁻¹, respectivamente, a una energía específica de 100.07 J·mL⁻¹.

Los valores obtenidos para la capacidad antioxidante de los extractos de *Ganoderma spp.* evidencian una tendencia creciente en función de las condiciones operativas evaluadas durante el proceso de extracción asistida por ultrasonido. En la fase inicial del estudio, donde se evaluó el efecto de la amplitud del ultrasonido, los valores registrados para ABTS y DPPH se mantuvieron relativamente bajos y con escasa variación entre los tratamientos, lo que sugiere que, dentro del rango estudiado, este parámetro no produjo cambios sustanciales en la liberación de compuestos con actividad antioxidante. Sin embargo, en la segunda fase experimental se observó un incremento progresivo de ambos indicadores conforme aumentó la relación sólido-solvente (S/F), lo que indica que un mayor volumen de solvente favoreció la difusión y solubilización de metabolitos fenólicos presentes en la matriz fúngica. Finalmente, en la tercera fase del estudio, el aumento de la energía específica aplicada mediante ultrasonido generó una mejora adicional en la capacidad antioxidante de los extractos, alcanzándose los valores más elevados de 44.37 mg EAG·g⁻¹ para ABTS y 32.69 mg EAG·g⁻¹ para DPPH cuando se aplicó una energía específica cercana a 100.07 J·mL⁻¹. Este comportamiento sugiere que niveles moderados de energía ultrasónica favorecen la ruptura de las estructuras celulares y facilitan la liberación de compuestos fenólicos bioactivos; no obstante, valores energéticos más altos no necesariamente incrementan la actividad antioxidante, lo cual podría atribuirse a posibles procesos de degradación o transformación de algunos compuestos sensibles a la intensidad del tratamiento.

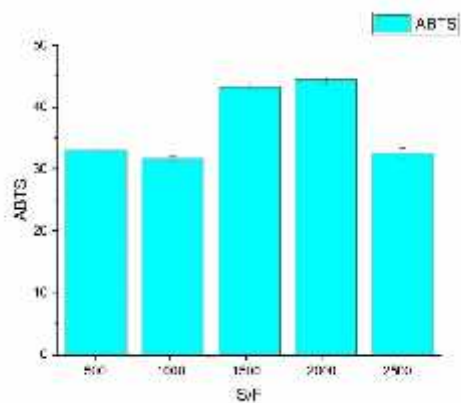
En la fase I no se observaron diferencias significativas entre los valores de ABTS y DPPH a distintas amplitudes (30-39 %). Los valores bajos de actividad antioxidante (7 mg EAG/g en ABTS y 5 mg EAG/g en DPPH) indican que la

amplitud por sí sola no fue un factor determinante, dado que la relación S/F limitada (10) restringió la difusión de los compuestos fenólicos. Esto evidencia que, a bajas proporciones de solvente, el efecto de cavitación acústica es insuficiente para liberar metabolitos antioxidantes.

En la fase II a medida que la relación S/F aumentó de 10 a 45, los valores de ABTS y DPPH se incrementaron más de cinco veces, alcanzando máximos de 42.04 mg EAG/g (ABTS) y 30.87 mg EAG/g (DPPH). Esto demuestra que el aumento del volumen de solvente mejora la transferencia de masa, permitiendo una extracción más completa de los compuestos fenólicos y triterpénicos presentes en la matriz fúngica. El efecto fue más notorio en ABTS, indicando una mayor eficiencia para captar radicales catiónicos (ABTS^+) que radicales libres ($\text{DPPH}\cdot$).

Figura 13

Actividad antioxidante (ABTS) del extracto de Ganoderma spp. en función de la relación sólido/solvente (S/F) en la fase III del proceso de extracción.



Nota. Actividad antioxidante determinada mediante el método ABTS en función de la relación sólido/solvente (S/F). Los datos representan la media de tres repeticiones $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados de la actividad antioxidante (ABTS) en función de la relación S/F

La figura 13 muestra la variación de la actividad antioxidante determinada mediante el método ABTS en función de la relación S/F. Los resultados evidencian cambios en la capacidad antioxidante del extracto según las condiciones evaluadas, observándose un incremento inicial seguido de una disminución en las relaciones más altas.

A una relación S/F de 500, la actividad antioxidante fue aproximadamente 33 mg EAG/g, lo que representa un nivel moderado de capacidad captadora de radicales libres. Cuando la relación S/F aumentó a 1000, se observó una ligera disminución en la actividad antioxidante, alcanzando un valor cercano a 32 mg EAG/g.

Sin embargo, al incrementar la relación S/F a 1500, la actividad antioxidante presentó un aumento considerable, alcanzando aproximadamente 43 mg EAG/g. Este comportamiento sugiere una mejora significativa en la extracción de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.

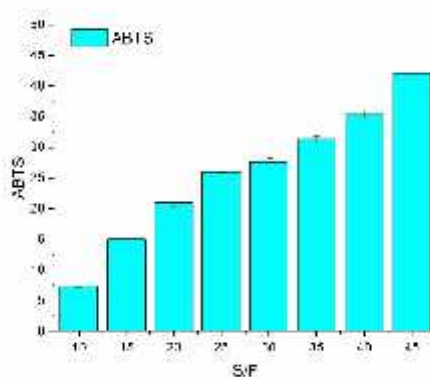
El valor máximo se registró a una relación S/F de 2000, donde la actividad antioxidante alcanzó aproximadamente 44–45 mg EAG/g, indicando que esta condición favorece la mayor liberación y solubilización de compuestos fenólicos y otros metabolitos responsables de la actividad antioxidante.

Posteriormente, al aumentar la relación S/F a 2500, la actividad antioxidante disminuyó hasta aproximadamente 33 mg EAG/g, lo que podría indicar una posible dilución del extracto o una menor eficiencia en la extracción de compuestos antioxidantes bajo estas condiciones.

En conjunto, los resultados muestran que la actividad antioxidante medida mediante el método ABTS alcanza su máximo valor en la relación S/F de 2000, lo que sugiere que esta condición representa el punto óptimo dentro del rango evaluado para la extracción de compuestos antioxidantes.

Figura 14

Actividad antioxidante (ABTS) en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.



Nota. Resultados de la actividad antioxidante determinados mediante el método ABTS en diferentes relaciones sólido/solvente (S/F). Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones experimentales $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados de la actividad antioxidante determinada por el método ABTS

La Figura 14 muestra la variación de la actividad antioxidante determinada mediante el método ABTS en función de la relación S/F. Los resultados evidencian un incremento progresivo de la actividad antioxidante a medida que aumenta esta relación, lo que sugiere que las condiciones de extracción influyen significativamente en la recuperación de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.

En la relación S/F = 10, se obtuvo el valor más bajo de actividad antioxidante, aproximadamente 7 mg EAG/g, lo que indica una menor eficiencia en la extracción de compuestos antioxidantes bajo estas condiciones. Al aumentar la relación S/F a 15 y 20, los valores de ABTS se incrementaron hasta aproximadamente 15 y 21 mg EAG/g, respectivamente, evidenciando una mejora en la capacidad antioxidante del extracto.

Este comportamiento ascendente continúa en las relaciones S/F de 25 y 30, donde la actividad antioxidante alcanzó valores cercanos a 26 y 28 mg EAG/g. Posteriormente, al incrementar la relación S/F a 35 y 40, se observó un aumento adicional de la actividad antioxidante, alcanzando aproximadamente 31 y 35 mg EAG/g, respectivamente.

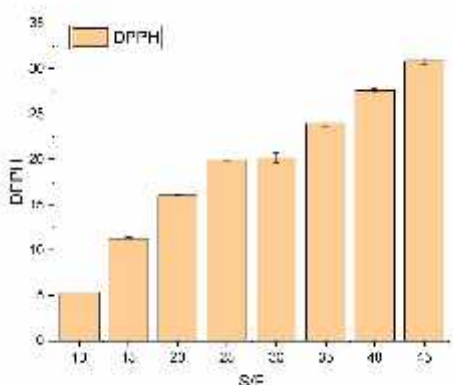
El valor máximo de actividad antioxidante se registró en la relación S/F = 45, con un valor aproximado de 42 mg EAG/g, lo que indica que esta condición favorece una mayor extracción de compuestos antioxidantes presentes en la muestra.

En conjunto, los resultados muestran una tendencia creciente de la actividad antioxidante con el aumento de la relación S/F, lo que sugiere que un mayor volumen de solvente favorece la difusión y solubilización de compuestos fenólicos

y otros metabolitos responsables de la actividad antioxidante determinada por el método ABTS.

Figura 15

Actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.



Nota. Actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH en diferentes relaciones sólido/solvente (S/F). Los valores representan la media de tres repeticiones experimentales $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados de la actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH

La figura 15 muestra la variación de la actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH en función de la relación S/F. Los resultados evidencian una tendencia creciente de la capacidad antioxidante conforme aumenta la relación S/F, lo que indica una mayor eficiencia en la extracción de compuestos bioactivos responsables de la actividad antioxidante.

En la relación S/F = 10, se registró el valor más bajo de actividad antioxidante, aproximadamente 5 mg EAG/g, lo que refleja una limitada extracción de

compuestos antioxidantes bajo estas condiciones. Al incrementar la relación S/F a 15, la actividad antioxidante aumentó hasta cerca de 11 mg EAG/g, mostrando un incremento significativo en comparación con la condición inicial.

Cuando la relación S/F se incrementó a 20, el valor de actividad antioxidante alcanzó aproximadamente 16 mg EAG/g, lo que indica una mayor liberación de compuestos con capacidad de neutralizar el radical DPPH. Posteriormente, en la relación $S/F = 25$, la actividad antioxidante continuó aumentando hasta aproximadamente 20 mg EAG/g.

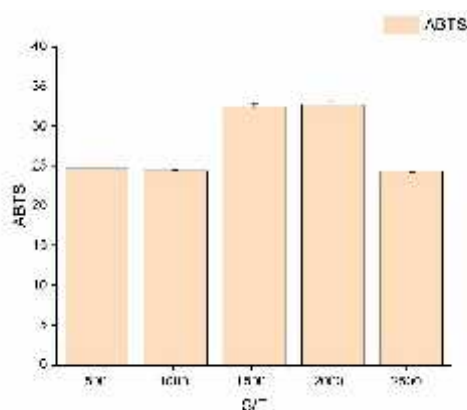
En las relaciones S/F de 30 y 35, se observaron valores cercanos a 20–21 mg EAG/g y 24 mg EAG/g, respectivamente, lo que evidencia un incremento progresivo de la capacidad antioxidante del extracto. Este comportamiento sugiere que el aumento del solvente favorece la difusión y solubilización de compuestos fenólicos presentes en la matriz.

Finalmente, los valores más altos de actividad antioxidante se registraron en las relaciones S/F de 40 y 45, alcanzando aproximadamente 27–28 mg EAG/g y 31 mg EAG/g, respectivamente. Estos resultados indican que la mayor capacidad antioxidante se obtuvo a $S/F = 45$, condición que favorece la extracción de metabolitos con capacidad captadora de radicales libres.

En conjunto, los resultados evidencian que el incremento de la relación S/F favorece la actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH, lo que sugiere una mayor extracción de compuestos fenólicos y otros antioxidantes presentes en la muestra.

Figura 16

Actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase III del proceso de extracción.



Nota. Actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH en diferentes relaciones sólido/solvente (S/F). Los valores representan la media de tres repeticiones experimentales $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados de la actividad antioxidante determinada mediante el método ABTS

La figura 16 presenta la actividad antioxidante evaluada mediante el método ABTS en función de la relación S/F. Los resultados muestran variaciones en la capacidad antioxidante del extracto según las condiciones evaluadas, observándose un incremento inicial seguido de una disminución en los valores más altos de la relación S/F.

A una relación S/F de 500, la actividad antioxidante alcanzó aproximadamente 24–25 mg EAG/g, indicando una capacidad moderada de neutralización del radical ABTS. Al aumentar la relación S/F a 1000, el valor se mantuvo prácticamente constante, registrándose aproximadamente 24 mg EAG/g, lo que sugiere que en este

intervalo no se produjo una mejora significativa en la extracción de compuestos antioxidantes.

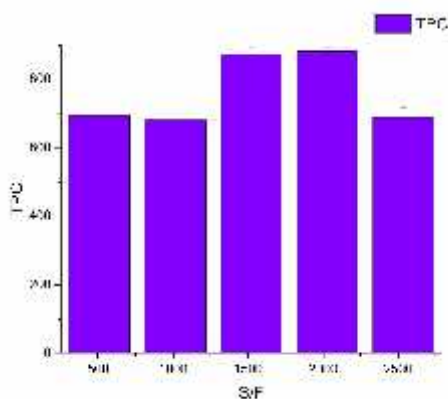
Cuando la relación S/F se incrementó a 1500, la actividad antioxidante aumentó considerablemente hasta aproximadamente 32 mg EAG/g, evidenciando una mayor liberación de compuestos bioactivos responsables de la actividad antioxidante. Este comportamiento se mantuvo al incrementar la relación S/F a 2000, donde se registró el valor máximo cercano a 33 mg EAG/g, indicando que esta condición favorece una mayor eficiencia en la extracción de compuestos antioxidantes.

Sin embargo, al aumentar la relación S/F a 2500, la actividad antioxidante disminuyó nuevamente hasta aproximadamente 24 mg EAG/g, lo que podría atribuirse a una posible dilución del extracto o a una menor eficiencia en la extracción bajo estas condiciones.

En conjunto, los resultados indican que la actividad antioxidante determinada mediante el método ABTS alcanza su máximo valor en la relación S/F de 2000, lo que sugiere que esta condición representa el nivel óptimo dentro del rango evaluado para la extracción de compuestos con capacidad antioxidante.

Figura 17

Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase III del proceso de extracción.



Nota. Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) determinado mediante el método de Folin-Ciocalteu en diferentes relaciones sólido/solvente (S/F). Los valores representan la media de tres repeticiones experimentales $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC)

La figura 17 muestra la variación del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en función de la relación S/F. Los resultados evidencian que la cantidad de compuestos fenólicos extraídos varía según las condiciones evaluadas, observándose un incremento progresivo hasta alcanzar un máximo y posteriormente una disminución.

En la relación $S/F = 500$, el contenido de compuestos fenólicos totales fue aproximadamente 690 mg EAG/g, indicando una extracción moderada de compuestos fenólicos bajo estas condiciones. Cuando la relación S/F se incrementó a 1000, el valor de TPC disminuyó ligeramente hasta cerca de 670 mg EAG/g, lo que sugiere que el aumento inicial del solvente no produjo una mejora significativa en la extracción de compuestos fenólicos.

Sin embargo, al aumentar la relación S/F a 1500, se observó un incremento considerable en el contenido de compuestos fenólicos, alcanzando

aproximadamente 870 mg EAG/g, lo que evidencia una mayor eficiencia en la liberación y solubilización de estos metabolitos bioactivos.

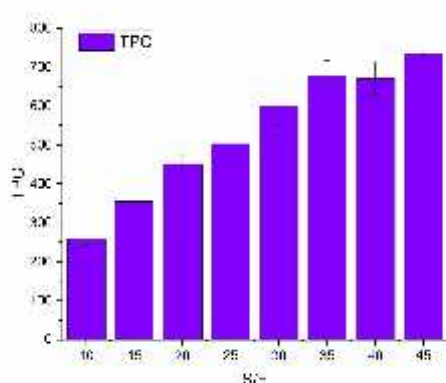
El valor máximo de TPC se registró a una relación S/F de 2000, con aproximadamente 890 mg EAG/g, indicando que esta condición favorece la mayor extracción de compuestos fenólicos presentes en la muestra.

Posteriormente, al incrementar la relación S/F a 2500, el contenido de compuestos fenólicos disminuyó nuevamente hasta aproximadamente 690 mg EAG/g, lo que podría atribuirse a un efecto de dilución del extracto o a una menor eficiencia de extracción en condiciones de mayor relación solvente-sólido.

En conjunto, los resultados indican que el contenido máximo de compuestos fenólicos totales se obtuvo a una relación S/F de 2000, lo que sugiere que esta condición representa el nivel óptimo dentro del rango evaluado para la extracción de compuestos fenólicos.

Figura 18

Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.



Nota. Contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) determinado mediante el método de Folin-Ciocalteu en diferentes relaciones sólido/solvente (S/F). Los valores representan la media de tres repeticiones experimentales $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC)

La figura 18 presenta la variación del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en función de la relación S/F. Los resultados evidencian una tendencia general creciente del contenido fenólico conforme aumenta la relación S/F, lo que indica una mayor eficiencia en la extracción de compuestos fenólicos bajo condiciones de mayor interacción entre la matriz sólida y el solvente.

En la relación S/F = 10, el contenido de compuestos fenólicos totales fue aproximadamente 250 mg EAG/g, constituyendo el valor más bajo registrado en el rango evaluado. Al incrementar la relación S/F a 15, el contenido fenólico aumentó hasta cerca de 350 mg EAG/g, evidenciando una mejora significativa en la extracción de estos compuestos.

Posteriormente, al aumentar la relación S/F a 20 y 25, el contenido de compuestos fenólicos continuó incrementándose, alcanzando aproximadamente 450 mg EAG/g y 500 mg EAG/g, respectivamente. Este comportamiento sugiere una mayor liberación y solubilización de compuestos fenólicos desde la matriz.

En las relaciones S/F de 30 y 35, el contenido fenólico se incrementó hasta aproximadamente 600 mg EAG/g y 680 mg EAG/g, respectivamente, lo que indica una mejora sostenida en la eficiencia de extracción.

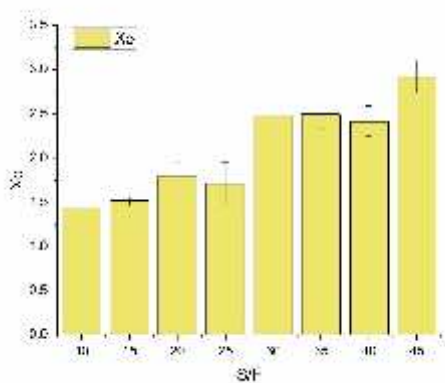
Cuando la relación S/F se incrementó a 40, el valor de TPC se mantuvo relativamente estable, registrándose aproximadamente 670 mg EAG/g, lo que podría indicar una ligera estabilización en la extracción de compuestos fenólicos bajo estas condiciones.

Finalmente, el valor máximo de compuestos fenólicos totales se registró en la relación $S/F = 45$, con aproximadamente 730–740 mg EAG/g, lo que sugiere que esta condición favorece la mayor recuperación de compuestos fenólicos presentes en la muestra.

En conjunto, los resultados indican que el incremento de la relación S/F favorece la extracción de compuestos fenólicos totales, alcanzándose el mayor contenido fenólico en $S/F = 45$, condición que mostró la mayor eficiencia dentro del rango evaluado.

Figura 19

Rendimiento de extracción en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase II del proceso de extracción.



Nota. Rendimiento de extracción obtenido en diferentes relaciones sólido/solvente (S/F). Los valores representan la media de tres repeticiones experimentales $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados del parámetro X_0 en función de la relación S/F

La figura 19 presenta la variación del parámetro X_0 en función de la relación S/F. Los resultados muestran una tendencia general creciente del valor de X_0 conforme aumenta la relación S/F, lo que indica que las condiciones de extracción influyen en el comportamiento del sistema analizado.

En la relación S/F = 10, el valor de X_0 fue aproximadamente 1,4, representando el valor más bajo dentro del rango evaluado. Al incrementar la relación S/F a 15, se observó un ligero aumento del parámetro hasta aproximadamente 1,5.

Posteriormente, al aumentar la relación S/F a 20, el valor de X_0 alcanzó cerca de 1,8, evidenciando un incremento progresivo. Sin embargo, en la relación S/F = 25, se observó una ligera disminución hasta aproximadamente 1,7, lo que podría indicar

una variabilidad experimental o un comportamiento transitorio del sistema bajo estas condiciones.

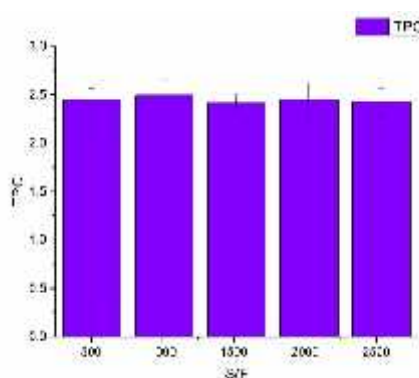
A partir de $S/F = 30$, el parámetro X_0 mostró un incremento más marcado, alcanzando aproximadamente 2,5. Este comportamiento se mantuvo relativamente estable en $S/F = 35$, con valores cercanos a 2,5, mientras que en $S/F = 40$ se observó una ligera disminución hasta aproximadamente 2,4.

Finalmente, el valor máximo de X_0 se registró en la relación $S/F = 45$, alcanzando aproximadamente 2,9, lo que sugiere que esta condición favorece el mayor valor del parámetro evaluado dentro del rango estudiado.

En conjunto, los resultados indican que el aumento de la relación S/F tiende a incrementar el valor del parámetro X_0 , alcanzando su máximo en $S/F = 45$, lo que podría estar asociado con una mayor interacción entre el solvente y la matriz sólida, favoreciendo los procesos involucrados en el sistema estudiado.

Figura 20

Rendimiento de extracción en función de la relación sólido/solvente (S/F) durante la fase III del proceso de extracción.



Nota. Rendimiento de extracción obtenido en diferentes relaciones sólido/solvente (S/F). Los valores representan la media de tres repeticiones experimentales $\pm$ desviación estándar. Elaboración propia.

Resultados del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC)

La figura 20 muestra la variación del contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en función de la relación S/F. Los resultados evidencian que los valores de TPC se mantienen relativamente estables a lo largo del rango evaluado, con ligeras variaciones entre las diferentes condiciones experimentales.

A una relación S/F de 500, el contenido de compuestos fenólicos totales fue aproximadamente 2,45, indicando una extracción moderada de compuestos fenólicos bajo estas condiciones. Cuando la relación S/F se incrementó a 1000, se observó un ligero aumento del valor de TPC, alcanzando aproximadamente 2,50, lo que representa el valor más alto registrado dentro del intervalo analizado.

Posteriormente, al aumentar la relación S/F a 1500, el contenido de compuestos fenólicos mostró una ligera disminución hasta aproximadamente 2,42, aunque el valor se mantiene cercano a los observados en las otras condiciones evaluadas.

En la relación S/F de 2000, el valor de TPC se incrementó nuevamente hasta aproximadamente 2,46, mostrando una leve recuperación en la cantidad de compuestos fenólicos extraídos. Finalmente, cuando la relación S/F alcanzó 2500, el contenido fenólico fue cercano a 2,43, manteniéndose dentro de un rango similar al observado en el resto de las condiciones.

En conjunto, los resultados indican que las variaciones en la relación S/F dentro del rango evaluado no generan cambios significativos en el contenido de compuestos fenólicos totales, ya que los valores permanecen relativamente constantes alrededor de 2,4-2,5. Esto sugiere que la extracción de compuestos fenólicos bajo estas condiciones alcanza un equilibrio o estabilidad, sin observarse incrementos sustanciales al aumentar la relación S/F.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian una relación estrecha entre el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y la actividad antioxidante determinada mediante los métodos ABTS y DPPH. A medida que se optimizan las condiciones de extracción, particularmente la relación sólido/solvente (S/F), se observa un incremento tanto en el rendimiento del extracto como en la concentración de compuestos fenólicos, lo que sugiere una mayor eficiencia en la liberación de metabolitos bioactivos presentes en *Ganoderma spp.* Este incremento en el contenido fenólico se refleja directamente en una mayor capacidad antioxidante, evidenciada por los valores obtenidos en los ensayos ABTS y DPPH, los cuales son ampliamente utilizados para evaluar la capacidad de los extractos para neutralizar radicales libres. En este sentido, la correspondencia observada entre los valores de TPC y los resultados de actividad antioxidante sugiere que los compuestos fenólicos constituyen uno de los principales contribuyentes a la capacidad antioxidante del extracto. Asimismo, el aumento progresivo del rendimiento de extracción bajo determinadas condiciones experimentales indica que la optimización del proceso favorece no solo la recuperación de mayor cantidad de extracto, sino también la obtención de fracciones con mayor contenido de compuestos bioactivos.

De manera integral, los resultados obtenidos permiten observar una relación consistente entre el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y la capacidad antioxidante evaluada mediante los ensayos ABTS y DPPH. Las condiciones experimentales que favorecieron un mayor rendimiento del extracto también estuvieron asociadas con concentraciones superiores de compuestos fenólicos, lo que sugiere que la optimización de la

relación sólido/solvente contribuye a una extracción más eficiente de metabolitos bioactivos presentes en *Ganoderma spp.* En este contexto, el incremento del TPC se refleja en una mayor capacidad de neutralización de radicales libres, evidenciada en los valores obtenidos mediante los métodos ABTS y DPPH. Este comportamiento indica que los compuestos fenólicos desempeñan un papel determinante en la actividad antioxidante del extracto, ya que su presencia está directamente vinculada con la capacidad reductora y captadora de radicales libres de las muestras analizadas. Asimismo, la mejora del rendimiento de extracción bajo determinadas condiciones del proceso sugiere que los tratamientos aplicados favorecen la liberación de compuestos fenólicos y otros metabolitos con potencial antioxidante desde la matriz fúngica hacia el medio extractante. En conjunto, estos resultados confirman que la optimización de los parámetros de extracción no solo incrementa la cantidad de extracto recuperado, sino que también mejora la calidad funcional del mismo, reflejada en su mayor contenido de compuestos fenólicos y en su elevada capacidad antioxidante.

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con estudios realizados en especies del género *Ganoderma*, donde se ha reportado que la actividad antioxidante está asociada principalmente con la presencia de compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios como polisacáridos, triterpenos y esteroides. Asimismo, se ha observado que la capacidad antioxidante puede variar según la especie, el tipo de extracto y las condiciones ambientales de crecimiento del hongo. Estas variaciones explican las diferencias en la actividad antioxidante y el contenido de polifenoles observadas entre las muestras analizadas en distintos estudios sobre *Ganoderma* (Islas Santillán et al., 2017).

Los resultados obtenidos en la presente investigación son consistentes con lo reportado en estudios realizados con especies del género *Ganoderma*. En particular, se ha demostrado que los extractos de *Ganoderma lucidum* presentan una elevada capacidad antioxidante cuando se evalúan mediante el método DPPH, alcanzando valores de hasta 90.81 % de actividad captadora de radicales libres, lo cual evidencia el alto potencial antioxidante de este hongo medicinal. Asimismo, estos resultados se relacionan con la presencia de compuestos fenólicos, cuyo contenido ha sido reportado en 235.19 µg GAE/mL, confirmando que estos metabolitos secundarios contribuyen significativamente a la actividad antioxidante observada en los extractos (Canpolat & Canpolat, 2023).

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con lo reportado por Peng et al. (2024) quienes evaluaron la actividad antioxidante de extractos etanólicos de *Ganoderma* mediante los métodos ABTS y DPPH. En dicho estudio, el ensayo ABTS mostró una capacidad de eliminación del radical ABTS•+ de 85.31 % para *Ganoderma lucidum* y 85.18 % para *Ganoderma leucocontextum*, evidenciando una alta actividad antioxidante de los extractos fúngicos.

De manera similar, el ensayo DPPH presentó una respuesta dependiente de la concentración, registrándose valores de IC₅₀ de 2.234 mg/mL para *Ganoderma lucidum* y 3.607 mg/mL para *Ganoderma leucocontextum*, lo que confirma la capacidad de estos extractos para neutralizar radicales libres.

Estos resultados se relacionan con la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y triterpenoides, metabolitos secundarios responsables de la capacidad antioxidante del género *Ganoderma*, debido a su capacidad de donar electrones o hidrógeno y estabilizar especies reactivas como DPPH y ABTS.

En relación con los hongos medicinales, el género *Ganoderma* ha sido reconocido como una fuente importante de compuestos funcionales. Diversos estudios han señalado que este género contiene metabolitos secundarios como polisacáridos, triterpenos, esteroides y compuestos fenólicos que contribuyen a múltiples efectos biológicos, entre ellos la actividad antioxidante, la modulación del sistema inmunológico y la protección celular frente al estrés oxidativo (Plosca et al., 2025). Estos compuestos han sido ampliamente estudiados debido a su potencial aplicación en la elaboración de alimentos funcionales y productos nutracéuticos.

Los resultados obtenidos confirman que la extracción asistida por ultrasonido constituye una estrategia eficaz para incrementar la recuperación de compuestos fenólicos y, en consecuencia, mejorar la capacidad antioxidante de los extractos de *Ganoderma spp.* En términos generales, el comportamiento experimental evidenció que tanto el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) como la actividad antioxidante determinada por ABTS y DPPH respondieron de manera favorable a la optimización de las condiciones de extracción. Este comportamiento es coherente con la literatura sobre tecnologías extractivas avanzadas, donde se ha señalado que el ultrasonido mejora la transferencia de masa, reduce el tiempo de procesamiento y favorece la liberación de metabolitos bioactivos desde matrices naturales complejas (Bhadange et al., 2024).

En la fase I, la variación de la amplitud entre 30 % y 39 % no produjo cambios relevantes en las variables de respuesta. El TPC pasó de 257.99 a 252.96 mg EAG/100 g, mientras que ABTS mostró valores de 7.33 y 7.29 mg EAG/g, y DPPH de 5.34 y 5.32 mg EAG/g. Esta escasa variación fue confirmada estadísticamente por el ANOVA de Welch, donde no se observaron diferencias significativas para

rendimiento ($p = 0.7869$), fenólicos totales ($p = 0.7564$), ABTS ($p = 0.7318$) ni DPPH ($p = 0.4904$). En conjunto, estos resultados indican que, bajo una relación sólido/solvente de 10 y con un suministro energético cercano a 50 J/mL, la amplitud evaluada no fue un factor limitante ni decisivo en la liberación de compuestos antioxidantes. Desde el punto de vista tecnológico, esto sugiere que el sistema operó en una zona relativamente estable de cavitación, en la que pequeños cambios de amplitud no modificaron sustancialmente la eficiencia extractiva.

Este comportamiento resulta consistente con estudios previos que muestran que la eficiencia del ultrasonido no depende únicamente de la amplitud, sino de la interacción simultánea entre potencia, tiempo, relación sólido/solvente y naturaleza de la matriz. En otras palabras, la amplitud aislada rara vez explica por sí sola un cambio sustancial en la recuperación de metabolitos bioactivos si el medio extractivo no permite una adecuada difusión de los compuestos liberados. En revisiones recientes se ha destacado precisamente que la eficiencia de la extracción ultrasónica está condicionada por variables combinadas, entre ellas el solvente, el tiempo, la temperatura y la intensidad del tratamiento (Bhadange et al., 2024).

En la fase II, la relación sólido/solvente mostró un efecto claramente positivo sobre la extracción. El TPC aumentó desde 257.99 mg EAG/100 g en S/F = 10 hasta 733.57 mg EAG/100 g en S/F = 45, lo que representa un incremento de aproximadamente 184.3 % respecto al valor inicial. En paralelo, ABTS pasó de 7.33 a 42.04 mg EAG/g, mientras que DPPH se elevó de 5.34 a 30.87 mg EAG/g. Esta tendencia ascendente demuestra que el aumento del volumen de solvente favoreció la solubilización y difusión de los compuestos fenólicos presentes en la matriz fúngica, permitiendo una extracción más eficiente. El comportamiento observado

sugiere que, dentro del rango estudiado, el sistema aún no había alcanzado un límite estricto de saturación, aunque los valores en $S/F = 40$ y 45 muestran que el incremento comienza a aproximarse a una zona de menor ganancia marginal. La respuesta positiva observada en la fase II coincide con trabajos desarrollados en matrices vegetales y subproductos agroindustriales, donde una mayor relación solvente/materia prima mejora la extracción de compuestos fenólicos al aumentar el gradiente de concentración entre la fase sólida y el medio líquido. En pieles de semillas de albaricoque, por ejemplo, se reportó que la sonicación en presencia de solventes adecuados favoreció la recuperación de metabolitos fenólicos y antioxidantes por efecto combinado de cavitación y mejor difusión hacia el medio extractante (Baran et al., 2026).

Del mismo modo, en tallos de *Beta vulgaris* se observó que la optimización del ultrasonido permitió elevar el contenido de fenoles solubles y la actividad antioxidante respecto a la extracción convencional, resaltando la importancia de ajustar la relación líquido/sólido para maximizar la eficiencia del proceso (Muñoz-Reaño et al., 2025).

Desde una perspectiva funcional, la respuesta antioxidante siguió la misma dirección que el TPC. En la fase II, ABTS se incrementó de 7.33 a 42.04 mg EAG/g, es decir, casi 5.7 veces, mientras que DPPH pasó de 5.34 a 30.87 mg EAG/g, aproximadamente 5.8 veces. Esta correspondencia sugiere que los compuestos fenólicos liberados durante la sonicación tuvieron una contribución directa sobre la capacidad captadora de radicales. De hecho, al considerar el conjunto de sus datos experimentales, la asociación entre TPC y actividad antioxidante fue muy alta, con una relación positiva consistente entre TPC-ABTS y TPC-DPPH. En términos

interpretativos, esto respalda que los fenólicos extraídos son uno de los principales grupos responsables del comportamiento antioxidante del extracto, aunque no debe descartarse la participación conjunta de otros metabolitos del género *Ganoderma*, como triterpenos, polisacáridos y esteroides bioactivos.

Esa interpretación es compatible con la literatura del género *Ganoderma*. Se ha descrito que especies como *Ganoderma lucidum* contienen polisacáridos, triterpenoides, compuestos fenólicos, esteroides, péptidos y otros metabolitos con actividad antioxidante y funcionalidad biológica diversa. Además, se ha señalado que la mejora de las tecnologías de extracción, incluyendo ultrasonido y microondas, contribuye a elevar la disponibilidad de estos compuestos y su eficacia biológica (Plosca et al., 2025). En consecuencia, sus resultados no solo muestran una mejora cuantitativa del TPC, sino también una mejora funcional expresada en la capacidad reductora y captadora de radicales de los extractos.

En la fase III, al mantener constante la amplitud en 30 % y la relación S/F en 35, el parámetro decisivo fue el incremento de la energía específica. El TPC aumentó desde 694.17 mg EAG/100 g a 25.08 J/mL hasta 881.37 mg EAG/100 g a 100.07 J/mL, lo que indica que un mayor aporte energético favoreció la ruptura de la matriz y la liberación de compuestos fenólicos hasta alcanzar una zona óptima. Sin embargo, cuando la energía específica se incrementó a 125.10 J/mL, el TPC descendió a 689.27 mg EAG/100 g, es decir, cayó incluso por debajo del valor registrado a 25.08 J/mL. Este comportamiento no lineal demuestra que el ultrasonido ejerce un efecto beneficioso solo hasta un umbral, a partir del cual el exceso de energía podría inducir degradación, oxidación o transformación estructural de compuestos sensibles.

La misma tendencia se observó para la actividad antioxidante. En ABTS, los valores pasaron de 33.01 mg EAG/g a 44.37 mg EAG/g cuando la energía específica aumentó de 25.08 a 100.07 J/mL, pero luego descendieron a 32.53 mg EAG/g en 125.10 J/mL. En DPPH, el comportamiento fue análogo: de 24.64 mg EAG/g a 32.69 mg EAG/g, seguido de una disminución a 24.23 mg EAG/g. Estos resultados indican que la energía específica cercana a 100 J/mL representó el punto de mayor eficiencia funcional dentro del rango evaluado. En términos tecnológicos, esto sugiere que niveles moderados altos de cavitación mejoran la extracción y la exposición de grupos donadores de electrones o hidrógeno, mientras que niveles más intensos podrían promover reacciones de degradación térmica localizada, oxidación secundaria o polimerización de compuestos fenólicos. Ese patrón ha sido descrito también en otros sistemas biológicos tratados con ultrasonido. En pulpa de *Syzygium cumini*, por ejemplo, la combinación de ultrasonido y tratamiento enzimático incrementó la recuperación de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante hasta condiciones optimizadas, pero exposiciones más severas tendieron a afectar la estabilidad de algunos compuestos sensibles (Adithya et al., 2026). De manera semejante, en residuos de café se ha reportado que la eficiencia de la extracción asistida por ultrasonido depende de una adecuada selección de solvente e intensidad del tratamiento, ya que el objetivo no es solo maximizar el rendimiento, sino preservar la integridad de los metabolitos bioactivos recuperados (Firdaus et al., 2026).

Los resultados de la fase III son particularmente valiosos porque permiten identificar con mayor claridad el óptimo tecnológico del proceso. Mientras que en la fase II el aumento de S/F mejoró progresivamente la extracción, en la fase III se

comprobó que el aporte energético no debe incrementarse indefinidamente. En su estudio, el mejor desempeño se alcanzó con 2001.33 Ws, equivalente a 100.07 J/mL, donde coincidieron el máximo TPC (881.37 mg EAG/100 g) y los valores más altos de ABTS (44.37 mg EAG/g) y DPPH (32.69 mg EAG/g). Esta coincidencia fortalece la interpretación de que el máximo funcional del extracto se logra cuando la extracción de fenólicos alcanza su punto más alto sin que ocurra degradación significativa.

Desde el punto de vista bioquímico, la estrecha concordancia entre TPC, ABTS y DPPH sugiere que los compuestos fenólicos fueron determinantes en la respuesta antioxidante. En sus datos experimentales, la asociación entre estas variables fue muy alta, lo que indica que a medida que aumentó el TPC también se intensificó la actividad antioxidante por ambos métodos. Esto tiene sentido, ya que tanto ABTS como DPPH evalúan la capacidad de los extractos para neutralizar especies radicalarias mediante transferencia de electrones o átomos de hidrógeno, procesos en los que los grupos hidroxilo fenólicos cumplen un rol esencial. Sin embargo, el hecho de que ABTS haya mostrado valores consistentemente superiores a DPPH sugiere que el extracto presentó mayor afinidad o eficiencia frente al radical catiónico ABTS que frente al radical DPPH, posiblemente por diferencias de solubilidad, polaridad y accesibilidad de los antioxidantes presentes en la mezcla extraída. Esta diferencia entre métodos también ha sido documentada en estudios sobre extractos obtenidos por ultrasonido. En matrices de *Capsicum* se observó que los compuestos fenólicos recuperados mediante sonicación contribuyeron significativamente al potencial antioxidante, aunque la magnitud de la respuesta dependió del ensayo aplicado y del perfil químico del extracto (Peres et al., 2026).

De manera semejante, en *Lenzites betulina* se reportó que la optimización ultrasónica elevó el contenido fenólico y las actividades biológicas, pero con diferencias entre métodos de evaluación, lo que confirma que la respuesta antioxidante no debe interpretarse como un valor único, sino como la expresión funcional de una mezcla compleja de metabolitos (Karaltı, 2026).

En conjunto, sus resultados permiten afirmar que los factores más influyentes sobre la liberación de compuestos fenólicos en *Ganoderma spp.* fueron, en primer lugar, la energía total suministrada, y en segundo término, la relación sólido/solvente. Por el contrario, la amplitud evaluada en la fase I no mostró efecto significativo dentro del rango estudiado. Esta jerarquía de factores tiene sentido desde la ingeniería del proceso: la relación sólido/solvente determina el gradiente de concentración y la capacidad del medio para recibir los metabolitos liberados, mientras que la energía específica gobierna la intensidad de la cavitación y, por tanto, la magnitud de la disrupción estructural del material biológico. La amplitud, en cambio, puede no manifestar un efecto diferenciable si las otras condiciones no permiten que esa energía se traduzca en una extracción más eficiente.

Finalmente, la evidencia experimental confirma que el ultrasonido no solo incrementa la cantidad de extracto funcionalmente activo, sino que además mejora su calidad antioxidante cuando se opera bajo condiciones controladas. El valor máximo de 881.37 mg EAG/100 g de TPC, junto con 44.37 mg EAG/g en ABTS y 32.69 mg EAG/g en DPPH, demuestra que *Ganoderma spp.* posee un importante potencial como fuente de antioxidantes naturales. No obstante, la disminución observada a 125.10 J/mL advierte que el exceso de energía compromete la estabilidad del sistema. Por ello, la principal implicancia de sus hallazgos no es solo

confirmar la utilidad del ultrasonido, sino definir una ventana operativa precisa en la que el proceso maximiza la liberación de compuestos bioactivos sin inducir deterioro. Esa conclusión tiene relevancia tanto científica como aplicada para el diseño de procesos extractivos orientados al desarrollo de ingredientes funcionales, extractos nutraceuticos o materias primas antioxidantes derivadas de hongos medicinales.

Tabla 18

Análisis de varianza (ANOVA de un factor) para el rendimiento de extracción (X_o), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC), y actividad antioxidante (ABTS y DPPH) en la fase I.

	F	gl1	gl2	p
Rendimiento (X_o)	0.0879	1	2.88	0.7869
Fenólicos totales (FT)	0.1147	1	3.11	0.7564
ABTS	0.1469	1	2.49	0.7318
DPPH	0.6429	1	2.56	0.4904

Nota. gl: grados de libertad. ANOVA de Welch aplicado para evaluar el efecto de la amplitud del ultrasonido (30 % y 39 %) sobre las variables respuesta. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

Todos los valores $p > 0.05$, lo que indica que NO existen diferencias estadísticamente significativas entre las amplitudes de 30% y 39% en ninguna de las variables medidas.

Los resultados del ANOVA de Welch para la Fase 1 mostraron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las amplitudes de 30% y 39% en ninguna de las variables respuesta evaluadas: rendimiento de extracción ($p = 0.787$), contenido de fenólicos totales ($p = 0.756$), actividad antioxidante por ABTS ($p = 0.732$) ni por DPPH ($p = 0.490$).

Esto sugiere que, dentro del rango evaluado, la amplitud del ultrasonido no es un factor crítico para la extracción de compuestos bioactivos de *Ganoderma spp.*

Considerando criterios de eficiencia energética, se recomienda utilizar la amplitud del 30% para procesos posteriores.

El análisis estadístico mediante ANOVA de Welch reveló que no existen diferencias significativas entre las amplitudes de 30% y 39% en el rendimiento de extracción ($F(1,2.88) = 0.088$, $p = 0.787$), contenido de compuestos fenólicos totales ($F(1,3.11) = 0.115$, $p = 0.756$), actividad antioxidante por ABTS ($F(1,2.49) = 0.147$, $p = 0.732$) ni por DPPH ($F(1,2.56) = 0.643$, $p = 0.490$).

Los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$) y homogeneidad de varianzas (Levene, $p > 0.05$) se cumplieron para todas las variables.

Los valores de rendimiento promedio fueron de 1.44 ± 0.11 g extracto/g *Ganoderma spp.* para 30% y 1.39 ± 0.23 g extracto/g *Ganoderma spp.* para 39%.

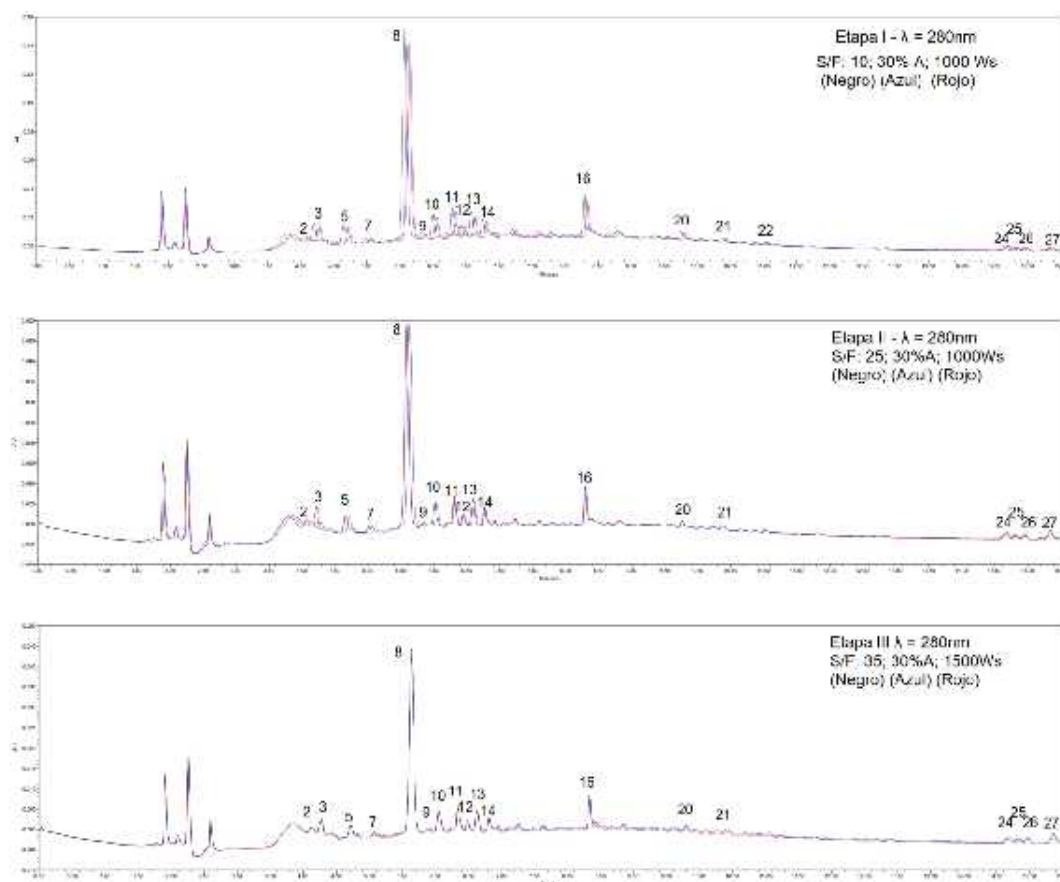
La caracterización química exhaustiva de extractos de hongos del género *Ganoderma spp.* mediante técnicas cromatográficas de alta resolución acopladas a espectrometría de masas constituye una etapa fundamental para elucidar su composición y correlacionarla con su potencial bioactividad. En el presente estudio, el análisis por UHPLC-DAD-MS/QDa del extracto de *durante la fase inicial del estudio, el espécimen fue identificado como Ganoderma spp. posteriormente, mediante análisis complementarios, se determinó que correspondía a la especie Ganoderma applanatum.*, obtenido mediante extracción ultrasónica con etanol al 50% (v/v) reveló un perfil complejo y bien resuelto.

Antes de abordar las identificaciones específicas, obtenidas se va a contextualizar la interpretación de los datos cromatográficos considerando la naturaleza complementaria de los detectores empleados. El análisis registró 27 picos mediante detección por arreglo de diodos (DAD) a 280 nm, mientras que el detector de masas

(MS) en el rango m/z de 100 - 600 permitió identificar y proponer estructuras para 15 iones mayoritarios (Figura 21). De manera complementaria, de todos los extractos obtenidos se muestra en el anexo 23.

Figura 21

Perfil cromatográfico de compuestos fenólicos del extracto de Ganoderma spp. obtenido mediante HPLC-DAD a 280 nm.



Nota. Cromatograma obtenido a 280 nm que muestra el perfil de compuestos fenólicos presentes en el extracto de *Ganoderma* spp. Los números sobre los picos indican los compuestos detectados según su tiempo de retención. Las condiciones de análisis corresponden a la etapa I del proceso de extracción (S/F 10; amplitud 30 %; 4000 Ws).

En la figura 21 El perfil cromatográfico obtenido mediante HPLC a una longitud de onda de 280 nm permitió evaluar la variación en la concentración de compuestos fenólicos presentes en las muestras sometidas a tratamiento ultrasónico. La superposición de los cromatogramas correspondientes a las diferentes condiciones experimentales evidenció que los tiempos de retención de los picos identificados (2–27) se mantuvieron constantes, lo que indica que el tratamiento no generó modificaciones estructurales significativas ni formación de nuevos compuestos detectables en el rango analizado.

El pico 8, ubicado aproximadamente a los 5 minutos, presentó la mayor intensidad de señal en todas las condiciones evaluadas, constituyéndose como el compuesto mayoritario del extracto. Las diferencias observadas en la altura y área del pico sugieren variaciones en la eficiencia de extracción inducidas por el ultrasonido de 24 kHz, atribuibles a la cavitación acústica y a la consecuente ruptura de la pared celular, lo cual favorece la liberación de metabolitos intracelulares.

El grupo de picos comprendido entre los tiempos de retención 6–7 minutos (picos 10–14) mostró variaciones moderadas en intensidad entre tratamientos, lo que podría estar relacionado con la sensibilidad diferencial de algunos compuestos fenólicos frente a la energía aplicada. Asimismo, el pico 16 (aproximadamente 8 minutos) representó el segundo compuesto de mayor relevancia cuantitativa dentro del perfil.

Los picos correspondientes a tiempos de retención superiores (20–27) presentaron menor intensidad, indicando concentraciones relativamente bajas de dichos compuestos. En algunos casos se observó una ligera disminución de señal, lo que

podría asociarse a procesos de degradación oxidativa cuando la exposición energética es mayor.

En conjunto, los resultados demuestran que el tratamiento ultrasónico a 24 kHz modificó cuantitativamente la concentración de compuestos fenólicos sin alterar el perfil cromatográfico cualitativo. Esto confirma que el ultrasonido actuó principalmente como intensificador del proceso extractivo, optimizando la liberación de bioactivos, aunque resaltando la importancia de controlar las condiciones de sonicación para evitar posibles efectos degradativos.

Esta diferencia no constituye una contradicción, sino una evidencia esperada y robusta de los principios físicos de cada técnica y la complejidad de la matriz analizada Wolfender et al.(2015). La DAD detectó todo compuesto que posea cromóforos con absorbancia a la longitud de onda monitoreada, independientemente de su capacidad de ionización. En contraste, la MS solo detecta especies que, bajo las condiciones específicas de ionización (ESI+), generan iones estables dentro del rango de masas escaneado. Por lo tanto:

Los 27 picos de DAD representan la complejidad cromatográfica total del extracto. Este número puede incluir isómeros, impurezas o compuestos con baja eficiencia de ionización.

Los 15 iones principales de MS proporcionan información crucial sobre la identidad molecular de una fracción significativa y bien definida de los analitos.

La concordancia entre el tiempo de retención t_R y el espectro UV de un pico DAD con el m/z obtenido por MS para el mismo t_R constituye el criterio primario para las identificaciones tentativas que se detallan a continuación.

Esta integración de técnicas es la estrategia óptima para el perfilado metabolómico, ofreciendo una visión integral (DAD) y específica (MS) de la composición del extracto.

El análisis cromatográfico mediante UPLC-DAD-MS permitió detectar diversos compuestos fenólicos presentes en el extracto de *Ganoderma* spp.. La identificación preliminar se realizó comparando los tiempos de retención, los espectros UV-Vis y los valores de m/z con reportes previamente publicados en la literatura. Los resultados se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19

Identificación tentativa de compuestos fenólicos mediante análisis cromatográfico UPLC-DAD-MS y comparación con la literatura.

Pico	t _R (min)	λ _{máx} (nm)	Clase Química Probable	m/z (modo +)	Identificación Tentativa	Referencia Literatura
1	2.3 – 2.5	280, 327	Ácido benzoico	169	Ácido gálico / 3,4,5- trihidroxibenzoico	(Huang, Ou, & Prior, 2005)
2	4.1 – 4.3	284, 362	Ácido fenólico	205	Ácido protocatecuico/ácido 3,4-dihidroxibenzoico	(Huang et al., 2005)
3	4.4 – 4.6	243, 302	Ácido fenólico	193	p-Hidroxibenzoico / 4- hidroxibenzoico	(Huang et al., 2005)
4	4.7 – 5.1	280 – 350	Flavonoides	289, 315, 434	Catequina (dímero)	(Xin et al., 2018)
5	5.2 – 5.8	254, 328	Ácido fenólico	221	Ácido cafeico / ácido 3,4 dihidroxicinámico	(Huang et al., 2005)
6	6.1 – 6.7	265, 330	Flavonol / hidroxiflavanal	241	Ácido ferúlico/ ácido 4-hidroxi-3- metoxicinámico	(Huang et al., 2005)
7	7.2 – 7.9	240 – 298	Flavanona / isoflavona	269	Apigenina o Luteolina (flavona)	(Huang et al., 2005)
8	8.4 – 9.0	275, 324	Flavan-3-ol	289, 291	Catequina (epicatequina, posible isómero)	(Xin et al., 2018)
9	9.5 – 10.2	280	Procianidina	577, 579	Procianidina B1 o B2 (dímero catequina- epicatequina)	(Xiao et al., 2012)

Nota. t_R: tiempo de retención; λ_{máx}: longitud de onda máxima registrada por detector DAD; m/z: relación masa-carga obtenida mediante espectrometría de masas. La identificación de los compuestos se realizó de forma tentativa mediante comparación de los tiempos de retención, espectros UV-Vis y valores m/z con reportes previamente descritos en la literatura científica.

El análisis identificó tres ácidos fenólicos simples mayoritarios, tal como el ácido gálico (m/z 169, t_R: 2.3 – 2.5 min), ácido protocatecuico (m/z 205, t_R: 4.1– 4.3 min) y p-hidroxibenzoico (m/z 193, t_R: 4.4 – 4.6 min), junto con ácido p-cumárico (m/z 237, t_R: 14.0–14.8 min). Estos compuestos representan entre 16–27% del contenido fenólico total del extracto, consistente con reportes previos en extractos de *Ganoderma lucidum* obtenidos mediante extracción con solventes polares. La dominancia de ácidos fenólicos C₆ - C₁ (benzoatos) sugiere que la extracción ultrasónica con 50% etanol extrae preferentemente compuestos hidrofílicos, lo cual es consecuente con el mecanismo de selección por polaridad reportado por Xin et al. (2018).

Tres ácidos cinámicos fueron identificados, siendo el ácido cafeico (m/z 221, t_R: 5.2 – 5.8 min), ácido ferúlico (m/z 241, t_R: 6.1 – 6.7 min) y apigenina (m/z 269, t_R: 7.2 – 7.9 min). Estos compuestos, que presentan la estructura C₆ - C₃ característica de ácidos cinámicos, constituyen 8 – 14% del extracto. La absorbancia máxima observada a 254 nm (para ácido caféico) y 330 nm (para ácido ferúlico) es concordante con la estructura de estos compuestos dihidroxi- y 4-hidroxi-3-metoxi-cinámicos, respectivamente. La presencia de estos compuestos C₆ - C₃ es importante dado que estudios previos han demostrado que ácidos cinámicos exhiben propiedades antioxidantes y antiinflamatorias comparables a flavonoides.

El análisis reveló catequinas como compuestos mayoritarios, con picos resueltos a t_R : 4.7 – 5.1 min (m/z 289, 315, 434) y t_R : 8.4 – 9.0 min (m/z 289, 291), que en conjunto constituyen 28 – 35% del extracto total. Los m/z observados en modo positivo (289, 291, 434) corresponden a catequina monómera ($C_{15}H_{14}O_6$, $M = 290$) e isómeros epicatequina, con fragmentos característicos confirmando estructuras flavan-3-ol. Este hallazgo es particularmente relevante porque catequinas son ampliamente reconocidas como compuestos antioxidantes potentes, con mecanismos de acción que incluyen captura de radicales libres y quelación de iones metálicos.

Además, se detectaron procianidinas dímero (m/z 577 – 579, t_R : 9.5 – 10.2 min) y trímero (m/z 865–867, t_R : 11.6 – 12.3 min), que constituyen 15 – 21% del extracto. Los patrones de fragmentación m/z observados son característicos de procianidinas B_1/B_2 (dímeros) y oligómeros $C_3 - C_0$ (trímeros), respectivamente, confirmando su identidad mediante espectrometría de masas. Las procianidinas son metabolitos secundarios importantes en plantas y hongos, y poseen actividades biológicas significativas incluyendo efectos antioxidantes y antiinflamatorios.

Se identificó de forma tentativa el flavonol quercetina (3,3',4',5,7-pentahidroxiavona; Pico 10; m/z 303 $[M+H]^+$; t_R 10.8 – 11.5 min). Su espectro UV, con bandas máximas a 285 nm y 327 nm, es diagnóstico para flavonoles con el patrón de sustitución 5,7,3',4'. La quercetina representa del 9% al 13% del extracto y es uno de los flavonoides más estudiados por sus múltiples propiedades, que incluyen una potente actividad antioxidante, antiinflamatoria y un potencial efecto inhibidor de la tirosinasa. Asimismo, se detectó una antocianidina (Pico 12; m/z 321 $[M+H]^+$; t_R 12.4 – 13.1 min) con un espectro UV ($\lambda_{\text{máx}}$ 278 y 325 nm)

compatible con delfinidina o cianidina. Aunque su abundancia relativa es menor (3–5%), la presencia de estos pigmentos es significativa por su conocida capacidad antioxidante y sus potenciales efectos beneficiosos sobre la salud vascular.

Un hallazgo crítico de este estudio es la baja abundancia relativa de triterpenos (principalmente ácidos ganodéricos tipo C; m/z 513 – 517) en el extracto, la cual se estima en $< 2\%$. Este resultado contrasta con los perfiles reportados para cuerpos fructíferos silvestres de *Ganoderma*, que pueden contener más de 15 triterpenos distintos (m/z 513 – 635) como metabolitos principales. Está marcada selectividad puede explicarse mediante el mecanismo de solubilidad de Hildebrand, debido a la solución hidroetanolica al 50% (v/v) que actúa como un solvente de polaridad intermedia, óptimo para la extracción de metabolitos hidrofílicos y de peso molecular medio (fenoles, ácidos, glucósidos), mientras que es ineficiente para solubilizar triterpenos altamente apolares. Esta observación está en plena concordancia con la literatura. Estudios como el de Xin et al. (2018) confirmaron que extractos de *Ganoderma lucidum* obtenidos con etanol al 50% contienen menos del 3% de triterpenos, mientras que extractos preparados con solventes puros o más apolares (etanol 100%, acetona) pueden alcanzar contenidos del 70% al 85%. Este patrón de selectividad en función de la polaridad del solvente se ha replicado en múltiples géneros de hongos medicinales, subrayando que la elección del método de extracción es el determinante primario del perfil fitoquímico final.

El análisis UHPLC-DAD-MS realizado, enfocado en el rango de m/z 100 – 600, resolvió de manera óptima los 27 picos correspondientes a la fracción de metabolitos hidrofílicos y de polaridad intermedia. Sin embargo, la comparación con las masas reportadas para triterpenos de *Ganoderma* (m/z 513 – 635) indica

que estos compuestos de mayor masa molecular y menor polaridad no se eluyen o detectan de forma prominente bajo las condiciones cromatográficas estándar optimizadas para fenólicos. Su análisis exhaustivo requeriría métodos específicos, como el uso de gradientes más prolongados, columnas distintas o, preferentemente, el análisis por HPLC-MS/MS de rango extendido ($m/z > 600$).

El análisis mediante HPLC del contenido de triterpenoides en *Ganoderma* constituye un método simple y eficaz para diferenciar las especies de este género, lo que resulta de utilidad en estudios relacionados con la clasificación taxonómica, la actividad biológica y la determinación estructural de sus compuestos. En el estudio realizado por Vijitrotai et al. (2025) se analizaron los perfiles de dos fuentes distintas de *Ganoderma lucidum*: *G. lucidum* MG2 obtenida en un mercado local de Chiang Mai, Tailandia, y *G. lucidum* G2 importada desde China, observándose diferencias significativas entre las muestras evaluadas. Estos resultados sugieren que el método cromatográfico utilizado permite realizar una evaluación cuantitativa precisa y suficiente, lo que lo convierte en una herramienta adecuada para el control de calidad de productos derivados de *Ganoderma*. Asimismo, se concluye que factores como la distribución geográfica, las condiciones de crecimiento y el tipo de sustrato pueden influir de manera determinante en la producción y composición química de estos hongos medicinales (Vijitrotai et al., 2025).

Evaluación de la sostenibilidad del proceso de extracción asistida por ultrasonido (UAE) mediante la métrica Path2Green

La aplicación de la métrica Path2Green propuesta por de Souza Mesquita et al. (2024) permitió realizar un análisis integral del desempeño ambiental del proceso de extracción asistida por ultrasonido (UAE) aplicado a *Ganoderma spp.* El puntaje

global alcanzado (0,303) ubica al proceso en un nivel de sostenibilidad intermedia, evidenciando un equilibrio entre atributos favorables y aspectos críticos que requieren optimización para lograr una mayor coherencia con los postulados de la química verde y los modelos de economía circular. (Figura 22)

Figura 22

Evaluación de sostenibilidad del proceso de extracción ultrasónica de Ganoderma spp. mediante el método Path2Green.



Nota. Pictograma de evaluación de sostenibilidad basado en el método Path2Green aplicado al proceso de extracción asistida por ultrasonido (UAE) utilizando un sistema hidroetanólico al 50 %. El puntaje global obtenido fue 0.303. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

El análisis detallado de los principios evaluados revela fortalezas estructurales relevantes. En el Principio 1 (Biomasa), el valor positivo obtenido (+0,75) responde al empleo de material fúngico silvestre recolectado de forma legal y trazable en la Amazonía peruana, sin interferir con sistemas productivos alimentarios. Este enfoque coincide con las tendencias actuales de valorización de recursos biológicos infrautilizados, tal como se observa en procesos orientados al aprovechamiento de

subproductos agroindustriales como el bagazo de macaúba conforme a Benvenuti et al.(2025) o matrices vegetales como el jengibre de acuerdo a Sulejmanović et al.(2025) donde la procedencia sostenible del recurso constituye un criterio determinante.

Asimismo, los Principios 6 (Purificación) y 8 (Postratamiento) alcanzaron la máxima puntuación (+1,00), dado que el extracto hidroetanólico se utiliza directamente sin requerir etapas adicionales de refinamiento. Esta configuración reduce significativamente el consumo energético y de insumos, promoviendo una lógica de eficiencia material alineada con estrategias de obtención de extractos listos para su aplicación. En este sentido, se observan similitudes conceptuales con metodologías integradas como la extracción con líquidos presurizados acoplada a detección en línea, Sanches Contieri et al. (2024) donde se privilegia la minimización de etapas posteriores.

En términos energéticos (Principio 9), el proceso presentó un consumo específico reducido (2,93 J/g de biomasa), lo que derivó en una valoración neutra (0,00). La eficiencia energética constituye una de las principales ventajas comparativas del ultrasonido frente a técnicas convencionales basadas en calentamiento prolongado, situándolo dentro del grupo de tecnologías emergentes de bajo impacto energético, comparable a lo reportado para la extracción con líquidos presurizados (Sulejmanović et al., 2025).

No obstante, el diagnóstico identificó limitaciones sustantivas. El Principio 2 (Transporte) obtuvo la puntuación más desfavorable (-0,80), atribuible al traslado de aproximadamente 860 km por vía aérea y terrestre desde la zona de recolección hasta el laboratorio. Esta condición pone de manifiesto la vulnerabilidad logística

inherente a la dependencia de biomasa silvestre no domesticada. Estudios en el ámbito de biorrefinerías subrayan la necesidad de fortalecer cadenas de suministro locales o avanzar hacia la domesticación de especies para reducir la carga ambiental asociada al transporte (Benvenuti et al.,2025).

En relación con el Principio 4 (Solventes), la calificación neutra (0,00) se explica por el uso de una mezcla hidroetanólica al 50% que incorpora etanol de origen petroquímico, clasificado como solvente problemático según la guía CHEM21. A diferencia de tecnologías basadas en agua subcrítica o CO₂ supercrítico cuyos solventes presentan un perfil ambiental más favorable, descrito por Ampese et al. (2025), el empleo de etanol fósil limita la sostenibilidad global, especialmente considerando que el solvente no se recupera al formar parte del producto final.

El Principio 11 (Revalorización) evidenció la principal debilidad del sistema (-1,00), al operar bajo un esquema lineal sin recuperación de solvente ni valorización del residuo sólido. En el marco de los enfoques contemporáneos de biorrefinería, la integración de procesos en cascada que permitan el aprovechamiento integral de la biomasa como la combinación de hidrólisis enzimática y la extracción asistida descrita por Santos et al.(2025), constituye una estrategia clave para maximizar el valor agregado y minimizar residuos.

El Principio 5 (Escalado) recibió una puntuación neutra (0,00), reflejando las limitaciones inherentes al trabajo en modo batch a escala de laboratorio. Aunque la tecnología de ultrasonido presenta potencial de escalabilidad, la configuración discontinua restringe la eficiencia operativa y la reproducibilidad industrial.

El score global de 0,303 corresponde a una sostenibilidad moderada dentro de la clasificación Path2Green. Aplicando la ecuación de regresión propuesta por de

Souza Mesquita et al. (2024), este valor equivale aproximadamente a 394 g de CO₂ equivalente por gramo de biomasa procesada. Si bien esta huella es significativa, representa una reducción del 37% respecto a estimaciones preliminares, lo que resalta la importancia de emplear métricas estandarizadas para obtener diagnósticos ambientales rigurosos.

Comparativamente, el desempeño del UAE se sitúa en rangos similares a otras tecnologías en fase de optimización, tales como procesos híbridos que integran hidrólisis enzimática y extracción asistida para isoflavonas, descrita por Santos et al. (2025) o la extracción con líquidos presurizados aplicada a polifenoles de propóleos de Sanches Contieri et al. (2024). En consecuencia, el UAE no debe considerarse intrínsecamente insostenible, sino como una plataforma tecnológica con alto potencial de mejora mediante intervenciones estratégicas.

Perspectivas de optimización y ecologización, el análisis permite delinear acciones concretas para fortalecer el perfil ambiental del proceso:

Reformulación del sistema solvente. Se recomienda evaluar etanol de origen biobasado proveniente de residuos agrícolas o incrementar la proporción acuosa, aproximándose al paradigma de “química en agua” característico de tecnologías como la extracción con agua subcrítica.

Implementación de estrategias de circularidad. Es prioritario diseñar esquemas de recuperación del solvente mediante destilación controlada cuando sea compatible con el producto final y desarrollar rutas de valorización del bagazo, ya sea a través de extracción secuencial para recuperar polisacáridos (p. ej., β -glucanos), su utilización como sustrato biotecnológico o su transformación en materiales de valor

agregado. Este enfoque en cascada constituye la base conceptual de modelos de biorrefinería aplicados a residuos agroindustriales (Ampese et al., 2025).

Figura 23

Análisis de varianza (ANOVA de un factor) para el rendimiento de extracción (X_0), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y actividad antioxidante (ABTS y DPPH) en la fase II.

	F	gl1	gl2	P
Rendimiento (X_0)	26.9	7	6.63	2.168e-4
Fenólicos totales (FT)	168.8	7	6.65	5.482e-7
ABTS	4443.6	7	6.57	1.389e-11
DPPH	8893.3	7	6.38	2.941e-12

Nota. gl: grados de libertad. ANOVA de Welch aplicado para evaluar el efecto de la relación sólido/solvente (S/F) sobre las variables respuesta. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

Todos los valores $p < 0.001$, lo que indica que existen diferencias altamente significativas entre las relaciones S/F en todas las variables medidas.

Aunque el análisis estadístico indicaba que relaciones S/F superiores (40-45) podrían extraer cantidades ligeramente mayores de algunos compuestos, se seleccionó S/F = 35 como condición óptima basándose en criterios de eficiencia práctica. Esta decisión considera: Con relación a la Eficiencia de recursos, el S/F = 35 permite procesar 28.5% más *Ganoderma* por volumen de solvente que S/F = 45 (0.514g vs 0.400g *Ganoderma* por 18g solvente).

No existen diferencias significativas en rendimiento entre S/F = 30, 35, 40 y 45 (Tukey, $p > 0.05$), y el contenido de fenólicos totales en S/F = 35 no difiere significativamente de valores superiores ($p > 0.05$).

Tabla 20

Análisis de varianza (ANOVA de un factor) para el rendimiento de extracción (X_o), contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y actividad antioxidante (ABTS y DPPH) en la fase III.

	F	gl1	gl2	P
Rendimiento (X_o)	0.0937	4	4.93	0.980123
Fenólicos totales (FT)	23.4799	4	4.65	0.002648
ABTS	197.6012	4	4.95	1.193e-5
DPPH	433.4199	4	4.73	2.877e-6

Nota. gl: grados de libertad. El análisis de varianza se aplicó para evaluar el efecto de la energía ultrasónica sobre las variables respuesta. Elaboración propia a partir de datos experimentales.

El análisis de la dosificación de energía reveló que esta variable no afecta significativamente el rendimiento de extracción ($F(4,4.93) = 0.094$, $p = 0.980$), pero sí ejerce efectos altamente significativos sobre la calidad del extracto.

La prueba post-hoc de Tukey mostró que la energía de 500 Ws/mL produce resultados equivalentes a 1000 y 2500 Ws/mL en contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante, mientras que las energías de 1500 y 2000 Ws/mL mostraron valores significativamente menores en estas variables.

Considerando la eficiencia energética y la calidad del extracto, se selecciona 500 Ws/mL como condición óptima, ya que consume menos energía mientras mantiene los mismos niveles de compuestos bioactivos que energías superiores.

La optimización de la dosificación de energía reveló un efecto bifásico interesante. Si bien el rendimiento de extracción no se vio afectado ($F(4,4.93) = 0.094$, $p =$

0.980), la calidad del extracto mostró dependencia significativa con la energía aplicada.

Se identificaron dos grupos estadísticamente distintos: energías de 500-1000-2500 Ws/mL produjeron los mejores resultados en contenido de compuestos fenólicos ($F(4,4.65) = 23.48$, $p = 0.003$) y actividad antioxidante (ABTS: $F(4,4.95) = 197.60$, $p < 0.001$; DPPH: $F(4,4.73) = 433.42$, $p < 0.001$), mientras que las energías de 1500-2000 Ws/mL mostraron valores significativamente menores.

Considerando criterios de eficiencia energética y estabilidad del proceso, se seleccionó 500 Ws/mL como condición óptima, ya que consume 50% menos energía que 1000 Ws/mL y 80% menos que 2500 Ws/mL, mientras produce extractos de calidad equivalente estadísticamente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluye que las variables operativas del ultrasonido influyen de manera diferenciada en el proceso de extracción de compuestos bioactivos de *Ganoderma spp.* Mientras que la amplitud evaluada no mostró un efecto significativo dentro del rango estudiado, la relación sólido/solvente (S/F) y la energía suministrada fueron los factores más influyentes sobre el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante del extracto. La optimización de estas variables permitió mejorar significativamente la eficiencia extractiva, confirmando que la extracción asistida por ultrasonido constituye una tecnología efectiva para la obtención de extractos funcionales con alto potencial antioxidante.
- La amplitud del ultrasonido evaluada entre 30 % y 39 % no generó diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de extracción, en el contenido de compuestos fenólicos totales ni en la actividad antioxidante determinada mediante los métodos ABTS y DPPH. Estos resultados indican que, dentro del intervalo estudiado, la amplitud no constituye un factor determinante en la liberación de metabolitos bioactivos desde la matriz fúngica, por lo que la amplitud de 30 % resulta suficiente para el desarrollo del proceso extractivo.
- La relación sólido/solvente tuvo un efecto altamente significativo sobre todas las variables evaluadas. El incremento del volumen de solvente favoreció la difusión y solubilización de compuestos fenólicos presentes en *Ganoderma spp.*, produciendo aumentos progresivos en el contenido de

compuestos fenólicos totales y en la actividad antioxidante de los extractos. Experimentalmente, el mayor valor de TPC se obtuvo en S/F = 45; sin embargo, la condición S/F = 35 representó una alternativa más eficiente desde el punto de vista práctico, al permitir una elevada recuperación de compuestos bioactivos con menor consumo relativo de solvente.

- La energía ultrasónica aplicada tuvo un efecto significativo sobre la calidad funcional del extracto. El incremento de la energía específica favoreció la liberación de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante hasta alcanzar un punto óptimo cercano a 100.07 J/mL. Sin embargo, energías superiores provocaron una disminución en el contenido de compuestos fenólicos y en la actividad antioxidante, lo que sugiere la posible degradación de compuestos fenólicos sensibles al exceso de energía. Por lo tanto, la energía suministrada constituye uno de los factores críticos para maximizar la eficiencia del proceso extractivo.
- El análisis cromatográfico realizado mediante UPLC-DAD-MS permitió caracterizar de manera detallada el perfil fenólico presente en los extractos de *Ganoderma spp.* obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido. El cromatograma registrado a 280 nm mediante detector de arreglo de diodos (DAD) evidenció la presencia de 27 picos cromatográficos, lo que refleja la elevada complejidad química del extracto. De estos compuestos detectados, 15 iones mayoritarios fueron identificados tentativamente mediante espectrometría de masas, dentro de un rango de m/z 100–600, lo que permitió asociar varios de ellos con compuestos fenólicos reportados previamente en especies del género *Ganoderma*.

- Entre los metabolitos detectados se identificaron ácidos fenólicos simples, como ácido gálico (m/z 169; tR $\approx$ 2.3–2.5 min), ácido protocatecuico (m/z 205; tR $\approx$ 4.1–4.3 min) y ácido p-hidroxibenzoico (m/z 193; tR $\approx$ 4.4–4.6 min), así como compuestos derivados de la familia de los ácidos cinámicos, entre ellos ácido cafeico (m/z 221; tR $\approx$ 5.2–5.8 min) y ácido ferúlico (m/z 241; tR $\approx$ 6.1–6.7 min). Asimismo, se detectaron flavonoides de relevancia biológica, destacando catequinas y epicatequinas (m/z 289–291), que constituyeron aproximadamente 28–35 % del extracto, además de procianidinas diméricas (m/z 577–579) y triméricas (m/z 865–867), las cuales representaron cerca de 15–21 % del contenido fenólico total. También se identificó de forma tentativa quercetina (m/z 303), con una abundancia relativa estimada entre 9 % y 13 % del extracto, así como una antocianidina compatible con cianidina o delphinidina (m/z 321) en proporciones menores (3–5 %).
- El análisis cromatográfico evidenció que el pico 8, localizado aproximadamente a 5 minutos de tiempo de retención, presentó la mayor intensidad de señal en todas las condiciones experimentales, constituyéndose en el compuesto mayoritario del extracto. Además, el grupo de picos comprendido entre 6 y 7 minutos de tiempo de retención (picos 10–14) mostró variaciones moderadas en su intensidad, lo que sugiere que las condiciones de sonicación influyeron principalmente en la concentración relativa de los compuestos fenólicos extraídos.
- De manera consistente con los resultados de compuestos fenólicos totales obtenidos por el método de Folin-Ciocalteu, el análisis cromatográfico

confirmó que la mayor liberación de compuestos fenólicos ocurrió bajo condiciones cercanas a 100.07 J/mL de energía específica, donde se registró el valor máximo de 881.37 mg EAG/100 g de *Ganoderma*, junto con las mayores actividades antioxidantes (44.37 mg EAG/g por ABTS y 32.69 mg EAG/g por DPPH). Asimismo, se observó que el incremento excesivo de energía ultrasónica provocó una disminución en la intensidad de algunos picos cromatográficos, lo que podría asociarse con procesos de degradación o transformación de compuestos fenólicos sensibles.

- En conjunto, los resultados obtenidos mediante UPLC-DAD-MS demuestran que el tratamiento ultrasónico no modificó cualitativamente el perfil cromatográfico del extracto, ya que los tiempos de retención de los compuestos se mantuvieron constantes, pero sí produjo variaciones cuantitativas en la concentración de metabolitos fenólicos. Esto confirma que el ultrasonido actúa principalmente como intensificador del proceso extractivo, favoreciendo la liberación de compuestos bioactivos desde la matriz fúngica sin alterar significativamente su estructura química.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar estudios adicionales utilizando diseños experimentales multivariados, como la metodología de superficie de respuesta, que permitan evaluar simultáneamente la interacción entre variables operativas del ultrasonido y determinar con mayor precisión las condiciones óptimas del proceso extractivo.
- Asimismo, se sugiere evaluar sistemas extractantes alternativos de menor impacto ambiental, como solventes de origen biobasado o sistemas acuosos,

que permitan mejorar el perfil de sostenibilidad del proceso y fortalecer su alineación con los principios de química verde.

- Se recomienda desarrollar estrategias de valorización del residuo sólido generado durante el proceso de extracción, orientadas a la recuperación de polisacáridos, β -glucanos u otros metabolitos de interés, promoviendo así un enfoque de biorrefinería y economía circular.
- Finalmente, se sugiere realizar estudios de escalamiento del proceso y evaluación de estabilidad de los extractos, así como analizar su posible incorporación en matrices alimentarias o nutraceuticas, con el objetivo de determinar su viabilidad tecnológica y potencial aplicación industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelkader, M. A. E., Mediatrice, H., Lin, Z., Rensing, C., Yacout, M. M., Lin, D., & Aggag, S. A. (2025). Investigating the Neuroprotective, Hepatoprotective, and Antimicrobial Effects of Mushroom Extracts. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(17), 1–31. <https://doi.org/10.3390/ijms26178440>
- Abderrahim, F., Arribas, S. M., Carmen Gonzalez, M., & Condezo-Hoyos, L. (2013). Rapid high-throughput assay to assess scavenging capacity index using DPPH. *Food Chemistry*, 141(2), 788–794. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.055>
- Abdullah, S., Bakshi, V., Mukherjee, S., Paul, S., Mollick, H. A., Maksuda, S., & Debnath, B. (2024). Understanding Ganoderma lucidum (Curtis) P. Karst's multipronged potential in improving drug delivery methods and its application in the management of prostate cancer. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 13(August), 100554. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2024.100554>
- Adithya, B. S., Kumar, S., Roy, S., Tiwari, R. K., & Sagar, N. A. (2026). Ultrasonication assisted enzymatic treatment for enhanced extraction of bioactive compounds from Jamun (Syzygium cumini) pulp. *Discover Food*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00721-y>
- Ampese, L. C., Di Domenico Ziero, H., De Marco, I., Scognamiglio, M., Mottola, S., Reverchon, E., & Forster-Carneiro, T. (2025). Application of supercritical technology in the production of microparticles of bioactive compounds from apple pomace. *Journal of Supercritical Fluids*, 225(June), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2025.106685>
- Baran, U., Kanmaz, H., Turan, B. K., Şahingil, D., & Hayaloğlu, A. A. (2026). Effect of roasting and sonication-assisted extraction conditions on phenolic compounds, physical properties and other constituents of EU PDO Malatya apricot (Prunus armeniaca L.) kernel skins. *Applied Food Research*, 6(1).

<https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101555>

- Barros, D., Alonso-Esteban, J. I., Finimundy, T. C., Pereira, C., Vaz, J. A., Pereira-Pinto, R., Fernandes, É., Pires, P., Santos, J., Barros, L., & Vaz-Velho, M. (2025). Bioactive and Phenolic Profiles in *Pinus pinaster* Bark: A Comparative Study of Microwave and Ultrasound Extraction Methods. *ChemEngineering*, 10(1), 2. <https://doi.org/10.3390/chemengineering10010002>
- Batista, R. D., Asquieri, E. R., de Moura e Silva, A. G., Batista, R. D., & de Abreu, D. J. M. (2026). Physicochemical Characterization of Potato Peel Flour (*Solanum tuberosum* L.) and Optimization of the Ultrasound-Assisted Extraction Process (UAE) of the Phenolic Compounds Using Response Surface Methodology. *Potato Research*, 69(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s11540-025-09997-0>
- Bera, T., Ghosh, M., Ghosh, S. K., & Sur, P. K. (2025). Mycochemistry, antioxidant activity and anticancer potentiality of ethyl acetate extract of *Dalmanes eschscholtzii* against A549 lung cancer cell line. *Scientific Reports*, 15(1), 1–22. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-22756-y>
- Berkati, A., Ben Hamiche, N., Kribeche, A., Himed, L., Merniz, S., D’Elia, M., Celano, R., & Rastrelli, L. (2026). Optimization of Bioactive Compound Extraction from *Prunus spinosa* L. Fruits Using Ultrasound-Assisted Extraction with Food-Grade Glycerin: A Combined RSM–ANN Approach. *Antioxidants*, 15(2), 1–27. <https://doi.org/10.3390/antiox15020202>
- 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>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.

[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

- Cadar, E., Negreanu-Pirjol, T., Pascale, C., Sirbu, R., Prasacu, I., Negreanu-Pirjol, B. S., Tomescu, C. L., & Ionescu, A. M. (2023). Natural Bio-Compounds from *Ganoderma lucidum* and Their Beneficial Biological Actions for Anticancer Application: A Review. *Antioxidants*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/antiox12111907>
- Canpolat, Ş., & Canpolat, E. Y. (2023). Antioxidant and Antimicrobial Activity of a Medicinal Mushroom, *Ganoderma lucidum*. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 26(11), 60–67. <https://doi.org/10.9734/jabb/2023/v26i11667>
- Cenitagoya Alonso, N., Cano Caballero, M., Maisanaba, S., Llana Ruiz-Cabello, M., Rives Sala, G., Valdés García, A., & Beltrán Sanahuja, A. (2026). Ultrasound-assisted extraction, characterization, and bioactivity assessment of polyphenol-rich papaya (*Carica papaya*) leaf extract for application in plant-based food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 107(November 2025). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.104357>
- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Condezo-Hoyos, L., Abderrahim, F., Conde, M. V., Susín, C., Díaz-Gil, J. J., González, M. C., & Arribas, S. M. (2009). Antioxidant activity of liver growth factor, a bilirubin covalently bound to albumin. *Free Radical Biology and Medicine*, 46(5), 656–662. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2008.12.002>
- Cortés-Avendaño, P., Quispe-Roque, J., Macavilca, E. A., & Condezo-Hoyos, L. (2024). High methoxyl pectin grafted onto gallic acid by one- and two-pot redox-pair procedures. *Food Chemistry*, 455(February). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139865>
- Cruz Félix, M. C. (2022). *Extractos de madera de vid para la potenciación de biomasa de*

Ganoderma spp. en cultivo líquido.

- Cui, J., Wang, D., Liu, Y., Zhang, T., Liu, Y., Cheng, Y., & Liu, X. (2025). Ultrasound-assisted extraction of neuroprotective antioxidants from *Ganoderma lucidum*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 121(July), 107528. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107528>
- de Souza Mesquita, L. M., Contieri, L. S., e Silva, F. A., Bagini, R. H., Bragagnolo, F. S., Strieder, M. M., Sosa, F. H. B., Schaeffer, N., Freire, M. G., Ventura, S. P. M., Coutinho, J. A. P., & Rostagno, M. A. (2024). Path2Green: introducing 12 green extraction principles and a novel metric for assessing sustainability in biomass valorization. *Green Chemistry*, 26(19), 10087–10106. <https://doi.org/10.1039/d4gc02512a>
- Diamantis, I., Stamatiadis, S., Melanouri, E. M., Papanikolaou, S., & Diamantopoulou, P. (2025). From Screening to Laboratory Scale-Up: Bioremediation Potential of Mushroom Strains Grown on Olive Mill Wastewater. *Biomass (Switzerland)*, 5(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/biomass5030050>
- Ekin, S., Bayramoglu Akkoyun, M., Bakir, A., Akcay, M. E., & Ekin, E. C. (2025). Comparison of Xanthine Oxidase Inhibitory Activities and Phenolic, Fatty Acid, Element, and Vitamin Levels of Four Mushroom Species. *Food Science and Nutrition*, 13(4). <https://doi.org/10.1002/fsn3.70203>
- Eraslan, E. C. (2026). Maximization of bioactive potential of *Fomes fomentarius* via artificial Intelligence-Assisted optimization. *Scientific Reports*, 16(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30320-x>
- Erbai, E. H., Maouni, S., Pinto da Silva, L., Saidi, R., Lamrani, Z., Esteves da Silva, J. C. G., Maouni, A., & Pinto, E. (2025). Bioactive Compounds and Pharmacological Properties of the Polypore *Fomes fomentarius*, a Medicinal Wild Mushroom Collected from Morocco. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(18), 1–20.

<https://doi.org/10.3390/ijms26189215>

- Fajardo, D., Sanchez, F., Dueñas, J., & Dueñas, A. (2022). Extracción asistida por ultrasonido y su aplicación en la obtención de aceites vegetales. *Centro Azúcar*, 49, 125–143. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v49n4/2223-4861-caz-49-04-125.pdf>
- Ferreira, I. C. F. R., Heleno, S. A., Reis, F. S., Stojkovic, D., Queiroz, M. J. R. P., Vasconcelos, M. H., & Sokovic, M. (2015). Chemical features of Ganoderma polysaccharides with antioxidant, antitumor and antimicrobial activities. *Phytochemistry*, 114, 38–55. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.10.011>
- Firdaus, R. M., Ishak, N. A. I. M., Aroua, M. K., & Gew, L. T. (2026). Extraction and LC–MS characterization of bioactive compounds from spent coffee grounds. *Discover Food*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s44187-026-00840-0>
- Gao, X., & Homayoonfal, M. (2023). Exploring the anti-cancer potential of Ganoderma lucidum polysaccharides (GLPs) and their versatile role in enhancing drug delivery systems: a multifaceted approach to combat cancer. *Cancer Cell International*, 23(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/s12935-023-03146-8>
- Gregorio, J., Lanza, P., Churión, C., & Gómez, N. (2016). Comparación entre el método Kjeldahl tradicional y el método Dumas automatizado (N Cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. *Saber-Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente*, 28(2), 245–249.
- Gunathilake, S., Aluthge, S., Farahnaky, A., Huynh, T., Ssepuuya, G., & Majzoobi, M. (2025). Functional and Nutritional Properties of Lion’s Mane Mushrooms in Oat-Based Desserts for Dysphagia and Healthy Ageing. *Foods*, 14(23), 1–23. <https://doi.org/10.3390/foods14234153>
- Halliwell, B. (1995). How to characterize an antioxidant: an update. *Biochemical Society Symposium*, 61, 73–101. <https://doi.org/10.1042/bss0610073>

- Hart, A., Anumudu, C., Onyeaka, H., & Miri, T. (2021). Application of supercritical fluid carbon dioxide in improving food shelf-life and safety by inactivating spores: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 417–428. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05022-7>
- Hossain, M. S., Barua, A., Tanim, M. A. H., Hasan, M. S., Islam, M. J., Hossain, M. R., Emon, N. U., & Hossen, S. M. M. (2021). Ganoderma applanatum mushroom provides new insights into the management of diabetes mellitus, hyperlipidemia, and hepatic degeneration: A comprehensive analysis. *Food Science and Nutrition*, 9(8), 4364–4374. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2407>
- Hosseini, Z., Madrakian, T., Ahmadi, M., & Afkhami, A. (2020). Ultrasound-assisted dispersive liquid antisolvent precipitation for extraction of polar organic compounds in water. *Analytica Chimica Acta*, 1135, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.08.027>
- Huo, H., Bao, H., & Yin, H. (2025). Optimization of bioactive polyphenols recovery from Flammulina velutipes stem waste using nonionic surfactant-integrated ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 119(May), 107408. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107408>
- Im, K. H., Choi, J., Baek, S. A., & Lee, T. S. (2021). Antioxidant and inflammation inhibitory effects from fruiting body extracts of Ganoderma applanatum. 261–271.
- Islas Santillán, M. Á., Castañeda Ovando, A., Álvarez Delgadillo, A., Valenzuela Garza, R., Romero Bautista, L., & Torres Valencia, J. M. (2017). Estudio preliminar de la actividad antioxidante de tres especies del género Ganoderma (Polyporaceae) nativas del estado de Hidalgo, México. *Scientia Fungorum*, 46, 37–45. <https://doi.org/10.33885/sf.2017.46.1175>
- Ismaili, A., Heydari, R., & Rezaeepour, R. (2016). Monitoring the oleuropein content of olive leaves and fruits using ultrasound- and salt-assisted liquid-liquid extraction

- optimized by response surface methodology and high-performance liquid chromatography. *Journal of Separation Science*, 39(2), 405–411. <https://doi.org/10.1002/jssc.201500795>
- Jiménez Moreno, J. A., Merino, J. J., Carrera, C., Chinchilla, N., Rostagno, M. A., Forster Carneiro, T., & Fernández Barbero, G. (2026). Ultrasound-assisted extraction combined with analytical characterization for the identification of a novel chalcone from Cambuci peel. *Microchemical Journal*, 222(February 2025). <https://doi.org/10.1016/j.microc.2026.117140>
- Jogaiah, S., Kurjogi, M., Abdelrahman, M., Hanumanthappa, N., & Tran, L. S. P. (2019). Ganoderma applanatum-mediated green synthesis of silver nanoparticles: Structural characterization, and in vitro and in vivo biomedical and agrochemical properties. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 1108–1120. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.12.002>
- Karakus, Z. (2026). Influence of Extraction Method on the Phytochemical Composition and Biofunctional Potential of *Centaurea urvillei* subsp. *Stepposa*: A Multi-Assay and In Silico Perspective. *ChemistrySelect*, 11(4). <https://doi.org/10.1002/slct.202504699>
- Karaltı, I. (2026). Phenolic content and biological activities of *Lenzites betulina* extracts obtained by ultrasonic-assisted optimization approaches. *Scientific Reports*, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-34988-7>
- Kaur, N., Kaur, D., & Qadri, O. S. (2026). Ultrasound-Assisted Enzymatic Extraction of *Moringa Oleifera* Seed Oil: Process Optimization and Determination of Nutritional Landscape. *ChemistrySelect*, 11(5), 1–15. <https://doi.org/10.1002/slct.202507077>
- Knez, E., Kadac-Czapska, K., & Grembecka, M. (2025). Evaluation of Spectrophotometric Methods for Assessing Antioxidant Potential in Plant Food Samples—A Critical Approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/app15115925>

- Laís Benvenuti; Renata Fialho Teixeira; Mayara Kuasnei, and A. A. F. Z. (2025). *Macauba Kernel Byproduct as a Source of Plant-Based Ingredients: From Valorization by Integration of High-Pressure Extraction Steps to Product Design*. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.5c00476>
- Li, C., Cui, Y., Lu, J., Liu, C., Chen, S., Ma, C., Liu, Z., Wang, J., & Kang, W. (2020). Ionic liquid-based ultrasonic-assisted extraction coupled with HPLC and artificial neural network analysis for ganoderma lucidum. *Molecules*, 25(6). <https://doi.org/10.3390/molecules25061309>
- Li, L., Peng, X. R., Dong, J. R., Lu, S. Y., Li, X. N., Zhou, L., & Qiu, M. H. (2018). Rearranged lanostane-type triterpenoids with anti-hepatic fibrosis activities from Ganoderma applanatum. *RSC Advances*, 8(55), 31287–31295. <https://doi.org/10.1039/c8ra05282d>
- Li, W. W., Wang, N., Liu, J., Ma, Y., Wang, Q., Li, W. W., Mu, Y., Wu, Q., & Wang, C. (2026). Isolation and bioactivities of nomilin from citrus family: a review. *Journal of Future Foods*, 6(5), 730–739. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.11.018>
- Liang, D., Yong, T., Chen, S., Xie, Y., Chen, D., Zhou, X., Li, D., Li, M., Su, L., & Zuo, D. (2018). Hypouricemic effect of 2,5-dihydroxyacetophenone, a computational screened bioactive compound from Ganoderma applanatum, on hyperuricemic mice. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(5). <https://doi.org/10.3390/ijms19051394>
- Liu, C., Zhao, Q., Ma, X., He, S., Zou, X., Gong, F., Liu, Y., Lei, J., Xiong, Z., & Liu, J. (2026). Novel green solvent-in situ ultrasound synergistic extraction of phenolic acids from Lonicera japonica thunb. *Ultrasonics Sonochemistry*, 127(February), 107779. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2026.107779>
- Lu, Y., Song, Z., Chen, P., Sheng, Z., & Wu, Z. (2026). COSMO-RS guided screening of deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction for resveratrol from

- Polygonum cuspidatum. *Ultrasonics Sonochemistry*, 127(February), 107795.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2026.107795>
- Luo, D., Xie, J. Z., Zou, L. H., Qiu, L., Huang, D. P., Xie, Y. F., Xu, H. J., & Wu, X. D. (2020). Lanostane-type triterpenoids from Ganoderma applanatum and their inhibitory activities on NO production in LPS-induced BV-2 cells. *Phytochemistry*, 177(June), 112453. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112453>
- Magalhães, L. M., Santos, F., Segundo, M. A., Reis, S., & Lima, J. L. F. C. (2010). Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-Ciocalteu reducing capacity. *Talanta*, 83(2), 441–447. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.09.042>
- Mai, T., Rahman, N. A., Pang, S. Y., Tan, J. P., & Chew, S. C. (2026). Green extraction approach for green microalga Tetraselmis tetrahele: Enhanced phenolic yield and bioactivity via Ultrasound-Assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 127(February), 107774. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2026.107774>
- Mardokić, A., Jónás, G., Albert, K., Molnár, M. A., Rédey, Á., Vatai, G., & Bánvölgyi, S. (2026). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from olive pomace: Polyphenol content and antioxidant activity. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 1–17. <https://doi.org/10.1556/446.2026.00261>
- Mohamed, S. H. A., Mahmoud, Y. A. G., Bediway, M. Y., Elsilk, S. E., Yosri, M., Metwally, K., Abo-Dya, N. E., Yahya, G., Almostafa, M., & El-Hela, A. A. (2025). From Mushrooms to Molecules: Exploring Depsidones in Ganoderma lucidum for Antioxidant and Anticancer Applications. *Molecules*, 30(17), 1–17. <https://doi.org/10.3390/molecules30173650>
- Moreira, D. M., Ribeiro dos Santos Junior, J., Corrêa-Filho, L. C., Correa Cabral, L. M., & Tonon, R. V. (2026). Enhanced recovery of antioxidant compounds from avocado pomace using ultrasound-assisted extraction systems. *Sustainable Food Technology*. <https://doi.org/10.1039/d5fb00837a>

- Muñoz-Reaño, P. I., Villagrán, Z., Aurora-Vigo, E. F., Rodríguez-Laffite, E., Silva-Jara, J. M., Montalvo-González, E., Schmiele, M., & Anaya-Esparza, L. M. (2025). Extraction Optimization of Phenolics from Beta Vulgaris Stems by High-Intensity Ultrasound with Response Surface Methodology Approach. *Trends in Sciences*, 23(4), 11399. <https://doi.org/10.48048/tis.2026.11399>
- Ormeño, E., Goldstein, A., & Niinemets, Ü. (2011). Extracting and trapping biogenic volatile organic compounds stored in plant species. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 30(7), 978–989. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.04.006>
- Parí, S. M., Saldaña, E., Rios-Mera, J. D., Quispe Angulo, M. F., & Huaman-Castilla, N. L. (2025). Emerging Technologies for Extracting Antioxidant Compounds from Edible and Medicinal Mushrooms: An Efficient and Sustainable Approach. *Compounds*, 5(3), 1–30. <https://doi.org/10.3390/compounds5030029>
- Pat, P., Apola, A., & Podolak, I. (2023). Sułkowska-Ziaja K., Galanty A., Szewczyk A., Paśko P., Kała K., Apola A., Podolak I., Muszyńska B.: Effect of Methyl Jasmonate Elicitation on Triterpene Production and Evaluation of Cytotoxic Activity of Mycelial Culture Extracts of *Ganoderma applanatum* (. *Phytochemistry*, 67(18), 1985–2001. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.07.004>
- Peñarrieta, J. M., Tejeda, L., Mollinedo, P., Vila, J. L., & Bravo, J. A. (2014). [Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos]. Phenolic Compounds in Food. *Revista Boliviana De Química*, 31, 68–81. <https://www.redalyc.org/pdf/4263/426339682006.pdf>
- Peng, G., Xiong, C., Zeng, X., Jin, Y., & Huang, W. (2024). Exploring Nutrient Profiles, Phytochemical Composition, and the Antiproliferative Activity of *Ganoderma lucidum* and *Ganoderma leucocontextum*: A Comprehensive Comparative Study. *Foods*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/foods13040614>

- Peres, D. S., da Silva, F. A., dos Santos, P. A., dos Santos, C. E., & Pilon, L. (2026). Ultrasound-enhanced extraction of *Capsicum* sp. pepper for microcapsule development and food matrix incorporation. *Applied Food Research*, 6(August 2025), 101713. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.101713>
- Pigoń-Zajac, D., Małecka-Massalska, T., Łapiński, J., & Predecka-Wróbel, M. (2025). Modern Pro-Health Applications of Medicinal Mushrooms: Insights into the Polyporaceae Family, with a Focus on *Cerrena unicolor*. *Molecules*, 30(20), 1–19. <https://doi.org/10.3390/molecules30204089>
- Pinela, J., Dias, M. I., Pereira, C., & Alonso-Esteban, J. I. (2024). Antioxidant Activity of Foods and Natural Products. In *Molecules* (Vol. 29, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/molecules29081814>
- Plosca, M. P., Chiş, M. S., Fărcaş, A. C., & Păucean, A. (2025). *Ganoderma lucidum*—From Ancient Remedies to Modern Applications: Chemistry, Benefits, and Safety. *Antioxidants*, 14(5), 1–20. <https://doi.org/10.3390/antiox14050513>
- Prak, K., Luft, C., Tsefou, E., Chávez-Olórtegui, C., Kriston-Vizi, J., Ketteler, R., & Braga, V. M. M. (2025). Functional analyses and integrated mechanisms of cellular destruction by L-amino acid oxidase. *Cell Death & Disease*, 17(1). <https://doi.org/10.1038/s41419-025-08187-7>
- Ramírez Ayala, W., Guevara Bravo, C. A., & Rodríguez Espinosa, J. A. (2020). Ácidos ganodéricos en *Ganoderma* sp, *Ganoderma lucidum* y en su sustrato agotado. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1), 206–216. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n1.2021.1743>
- Ramírez, R., Adame, B., Ríos, S., Corpus, G., García J, M. J., Esqueda, S., & Fuentes, M. (2019). *Compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos obtenidos con ultrasonido de potencia a partir de mezclas de Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) y pasta prensada de uva. RESUMEN*. 4, 826–833.

- Rašeta, M., Kebert, M., Mišković, J., Kostić, S., Kaišarević, S., Stilinović, N., Vukmirović, S., & Karaman, M. (2024). *Ganoderma pfeifferi* Bres. and *Ganoderma resinaceum* Boud. as Potential Therapeutic Agents: A Comparative Study on Antiproliferative and Lipid-Lowering Properties. *Journal of Fungi*, 10(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/jof10070501>
- Raza, S. H. A., Zhong, R., Li, X., Pant, S. D., Shen, X., Binmowyna, M. N., Luo, L., & Lei, H. (2024). *Ganoderma lucidum* triterpenoids investigating their role in medicinal applications and genomic protection. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 76(12), 1535–1551. <https://doi.org/10.1093/jpp/rgae133>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rezaeepour, R., Heydari, R., & Ismaili, A. (2015). Ultrasound and salt-assisted liquid-liquid extraction as an efficient method for natural product extraction. *Analytical Methods*, 7(7), 3253–3259. <https://doi.org/10.1039/c5ay00150a>
- Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Edición McGraw-Hill*. http://www.academia.edu/download/38758233/sampieri-et-al-metodologia-de-la-investigacion-4ta-edicion-sampieri-2006_ocr.pdf
- Sanches Contieri, L., Mendes de Souza Mesquita, L., Ferreira, V. C., Moreno, J. A. J., Pizani, R. S., Forster Carneiro, T., & Rostagno, M. A. (2024). Sustainable and Innovative Method for Real-Time Extraction and Analysis of Polyphenols from Green Propolis by Pressurized Liquid Extraction Coupled Inline with Photodiode Array Detection (PLE-PDA). *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 12(52), 18735–18747. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c08602>
- Santos, P. H., Bragagnolo, F. S., de Ávila, A. R. A., Macedo, G. A., & Rostagno, M. A.

- (2025). Eco-efficient extraction of daidzein and genistein from soybean meal: Integrating enzymatic hydrolysis and HIUS-PLE. *Food Chemistry*, 495(August). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146455>
- Sarhadi, H., Shahdadi, F., Barvati, B. R., Sardoei, A. S., Fazeli-Nasab, B., Hatami, M., Kashi, F., & Ghorbanpour, M. (2026). Ultrasound-assisted aqueous extraction of phenolic compounds, antioxidants, and antibacterial properties from the leaves, fruits, and roots of *Capparis spinosa* L. *Discover Food*. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00755-2>
- Sevindik, M., Bal, C., Krupodorova, T., Gürgen, A., & Eraslan, E. C. (2025). Extract optimization and biological activities of *Otidea onotica* using Artificial Neural Network-Genetic Algorithm and response surface methodology techniques. *BMC Biotechnology*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12896-025-00960-y>
- Sies, H. (2015). Oxidative stress: A concept in redox biology and medicine. *Redox Biology*, 4, 180–183. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002>
- Singleton, V. L., & Orthofer, R. and R. M. L.-R. (1999). Analysis of total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *The Lancet Global Health*, 9(2), e144–e160. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7)
- Solórzano Orellana, Y. M. D. (2017). *La Universidad Católica de Loja*. 62.
- Song, X., Cui, W., Gao, Z., Zhang, J., & Jia, L. (2021). Structural characterization and amelioration of sulfated polysaccharides from *Ganoderma applanatum* residue against CCl₄-induced hepatotoxicity. *International Immunopharmacology*, 96(February), 107554. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107554>
- Stinco, C. M., Benítez González, A. M., Escudero-Gilete, M. L., & Vicario, I. M. (2025). Green optimization of microwave and ultrasound-assisted extraction of zeaxanthin from dehydrated goji berries using corn oil as a solvent. *Sustainable Chemistry and*

Pharmacy, 46(June). <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.102085>

- Su, H. G., Wang, Q., Zhou, L., Peng, X. R., Xiong, W. Y., & Qiu, M. H. (2020). Highly oxygenated lanostane triterpenoids from *Ganoderma applanatum* as a class of agents for inhibiting lipid accumulation in adipocytes. *Bioorganic Chemistry*, 104(August), 104263. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104263>
- Suktham, K., Surassmo, S., Thiramanas, R., Yahya, A., Chansriniyom, C., Polpanich, D., & Asawapirom, U. (2026). Comparative evaluation of ultrasound-assisted extraction and micelle-mediated extraction of bioactive compound from *Acmella oleracea*. *Scientific Reports*, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-33115-2>
- Suleimenova, Z., Lomberg, M., Bisko, N., Mykchaylova, O., Mustafin, K., Zhakipbekova, A., & Zhumagalieva, G. (2025). *Hericium erinaceus*: Combining traditional uses with modern biotechnology to develop nutraceuticals. *Biosystems Diversity*, 33(3), 1–11. <https://doi.org/10.15421/012535>
- Sulejmanović, M., Rojo, S. R., Mourtzinis, I., Kyriakoudi, A., Nastić, N., Travičić, V., & Vidović, S. (2025). Green and innovative pressurized liquid extraction as a tool for ginger (*zingiber officinale*) herbal dust bioactive compounds recovery. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 46(May). <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.102083>
- Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Informacion Tecnologica*, 26(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200002>
- Trevisiol, F., Renoldi, N., Brovedani, A., Rondinella, A., Marino, M., Comuzzi, C., Maalej, A., Chamkha, M., Maalej, H., Innocente, N., Nicoli, M. C., & Calligaris, S. (2026). Ultrasound-assisted extraction of water-soluble components from olive stones: Chemical characterization and functionalities. *Food Chemistry*, 498(November 2025). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147134>

- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Carmen, J., Ramírez, R., Estela, B., & Rangel, U. (2013). Ultrasonido: aplicaciones en el campo de los alimentos. *Revista Fuente Nueva Época Año*, 4(14), 13.
- Ünal, O., Gürgen, A., Krupodorova, T., Sevindik, M., Kabaktepe, Ş., & Akata, I. (2025). Optimization of *Phellinus hartigii* extracts: Biological activities, and phenolic content analysis. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12906-025-04851-9>
- Vargas, V., Venegas, N. A., Cuellar, L. N., Rodríguez, W., & Paladines-Beltrán, G. M. (2026). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from copoazú (*Theobroma grandiflorum*) seeds for functional food applications. *Applied Food Research*, 6(1), 101695. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.101695>
- Vijitrotai, P., Vijitrotai, N., & Puttongsiri, T. (2025). Quantification of total beta-glucan, ganoderic acid A and antioxidant activity of *Ganoderma lucidum* (Lingzhi) powder. *Food Research*, 9(1), 245–251. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.9\(1\).204](https://doi.org/10.26656/fr.2017.9(1).204)
- Vu, T. T. Le, Phan, T. Q., Do, T. L., & Nguyen, V. B. (2025). Novel and Potential Photoprotective and Tyrosinase Inhibitory Effects of *Tetrastigma erubescens* Extracts: Evidence from In Vitro Assays and Computational Approach. *Life*, 15(7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/life15070995>
- Wang, W., Sun, R., Zhang, J., Jia, L., & Dong, Y. (2026). Study on the Mechanism of *Ganoderma lucidum* Polysaccharides for Ameliorating Dyslipidemia via Regulating Gut Microbiota and Fecal Metabolites. *Biomolecules*, 16(1), 153. <https://doi.org/10.3390/biom16010153>
- Wolfender, J. L., Marti, G., Thomas, A., & Bertrand, S. (2015). Current approaches and challenges for the metabolite profiling of complex natural extracts. *Journal of Chromatography A*, 1382, 136–164. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.10.091>
- Wu, S., Fan, X., Yang, P., Tian, B., Jia, X., Xie, H., Shan, C., Han, J., Zhang, F., & Wang,

- H. (2026). Ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction and bioactivity evaluation of phenolic compounds from white birch bark. *Industrial Crops and Products*, 242(January), 122900. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2026.122900>
- Xiaoying, M., Peng, Z., Hong, W., Na, G., Jun, X., Ying, Z., Xun, C., & Guoli, L. (2025). From functional foods to immunotherapeutic agents: mechanistic insights into medicinal mushroom bioactives in chronic inflammation management. *Frontiers in Nutrition*, 12(December). <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1725297>
- Xin, H., Fang, L., Xie, J., Qi, W., Niu, Y., Yang, F., Cai, D., Zhang, Y., & Wen, Z. (2018). Identification and quantification of triterpenoids in lingzhi or reishi medicinal mushroom, *Ganoderma lucidum* (Agaricomycetes), with HPLC-MS/MS methods. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 20(10), 919–934. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2018027398>
- Yang, K. N., Lin, C. Y., Li, W. N., Tang, C. M., Pradhan, J., Chao, M. W., & Tseng, C. Y. (2024). *Ganoderma tsuage* promotes pain sensitivity in aging mice. *Scientific Reports*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61499-0>
- Zhen, D., Su, L., Miao, Y., Zhao, F., Ren, G., Mahfuz, S., & Song, H. (2018). Purification, partial characterization and inducing tumor cell apoptosis activity of a polysaccharide from *Ganoderma applanatum*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.062>
- Zhu, X., Ru, Y., Yan, K., Zhang, S., Sun, Y., Du, F., Liu, Y., Niu, Y., Xi, J., & Liu, K. (2026). Ultrasound-assisted and resin-based purification of bioactive polyphenols from peony (*Paeonia ostii*) pods: process optimization and α -glucosidase inhibitory activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 127(February), 107775. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2026.107775>

VI. ANEXOS

Anexo 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Efecto de las condiciones del ultrasonido en la obtención de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de *Ganoderma spp*”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cómo influyen las variables operativas del ultrasonido (amplitud, relación sólido/líquido y energía suministrada) en el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de los extractos obtenidos de <i>Ganoderma spp.</i> , utilizando un diseño experimental univariado secuencial?	Evaluar el efecto de las variables operativas del ultrasonido (amplitud, relación sólido/líquido y energía suministrada) sobre el rendimiento de extracción, contenido de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de extractos obtenidos a partir de <i>Ganoderma spp.</i> , mediante un diseño experimental univariado secuencial.	Las variables operativas del ultrasonido-amplitud, relación sólido/líquido y energía suministrada influyen significativamente y de manera diferenciada en el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante de los extractos obtenidos de <i>Ganoderma spp.</i> , cuando se evalúan de forma secuencial mediante un diseño experimental univariado.	Variables Independientes Parámetros para la obtención de compuestos bioactivos. Dimensiones: A. % solvente B. % Amplitud C. Relación S/F D. Tiempo de extracción Variables Dependientes Características de los compuestos bioactivos del <i>Ganoderma spp.</i> Dimensiones: A. Rendimiento global de extracción. B. Compuestos fenólicos totales. C. Actividad antioxidante. D. Perfil de compuestos fenólicos.	Tipo de Investigación: Aplicada. Nivel de Investigación: Explicativo Método de investigación: Inductivo – Deductivo. Diseño de investigación: Experimental. Población: La población en el presente estudio estará conformada por <i>Ganoderma spp.</i> proveniente de Madre de Dios, del distrito de Tambopata, específicamente, de la zona silvestre. Muestra <i>Ganoderma spp.</i>
¿Cómo varía el rendimiento de extracción, el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del extracto de <i>Ganoderma spp.</i> al modificar la amplitud del ultrasonido?	Analizar el efecto de la amplitud del ultrasonido sobre el rendimiento de extracción, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los extractos de <i>Ganoderma spp.</i>	Un aumento en la amplitud del ultrasonido incrementa significativamente el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de los extractos de <i>Ganoderma spp.</i> , dentro de un rango óptimo de amplitud.		
¿Qué efecto tiene la relación sólido/líquido en la eficiencia de extracción y en la concentración de compuestos fenólicos obtenidos por ultrasonido?	Determinar la influencia de la relación sólido/líquido (S/F) sobre las variables de respuesta del proceso de extracción mediante ultrasonido.	Existe una relación no lineal entre la relación sólido/líquido y el contenido de compuestos fenólicos, siendo las proporciones intermedias (20–35 g/g) las que maximizan la eficiencia del proceso.		
¿Qué nivel de energía total suministrada optimiza simultáneamente el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante del extracto?	Evaluar el impacto de la energía total suministrada en el			

proceso de extracción de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante, identificando niveles óptimos de procesamiento.	El aumento progresivo de la energía suministrada mejora inicialmente el rendimiento de extracción y la actividad antioxidante, hasta alcanzar un punto crítico a partir del cual los efectos se estabilizan o disminuyen.
--	---

Anexo 2

Procedimiento experimental

La evaluación de las condiciones experimentales se llevó a cabo utilizando un equipo ultrasónico Hielscher UP400St (400 W, 24 kHz), equipado con una sonda de titanio y acoplado a una celda acústica con sistema de monitoreo y control de temperatura.



Anexo 3

Laboratorio del Instituto de Investigación de Bioquímica y Biología Molecular- UNALM



Anexo 4

Muestra de *Ganoderma spp*



Anexo 5

Equipo ultrasónico Hielscher UP400St (400 W, 24 kHz).



Anexo 6

Equipo ultrasónico Hielscher UP400St (400 W, 24 kHz).



Anexo 7

Laboratorio del Instituto de Investigación de Bioquímica y Biología Molecular - UNALM



Anexo 8

En el Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAT).



Anexo 9

En el Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAT).



Anexo 10

En el Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAT).



Anexo 11

En el Laboratorio del Instituto de Investigación de Bioquímica y Biología

Molecular - UNALM



Anexo 12

Análisis estadístico de las fases por el Software de Jamovi

Descriptivas de Grupo					
	Tratamiento	N	Media	DE	EE
Rendimiento (Xo)	30	3	1.44	0.1097	0.06333
	39	3	1.39	0.2281	0.13170
Fenólicos totales (FT)	30	3	257.99	22.5626	13.02654
	39	3	252.96	12.4233	7.17260
ABTS	30	3	7.33	0.1704	0.09838
	39	3	7.29	0.0603	0.03480
DPPH	30	3	5.34	0.0404	0.02333
	39	3	5.32	0.0153	0.00882

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)		
	W	p
Rendimiento (Xo)	0.967	0.8750
Fenólicos totales (FT)	0.936	0.6272
ABTS	0.890	0.3197
DPPH	0.988	0.9845

Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

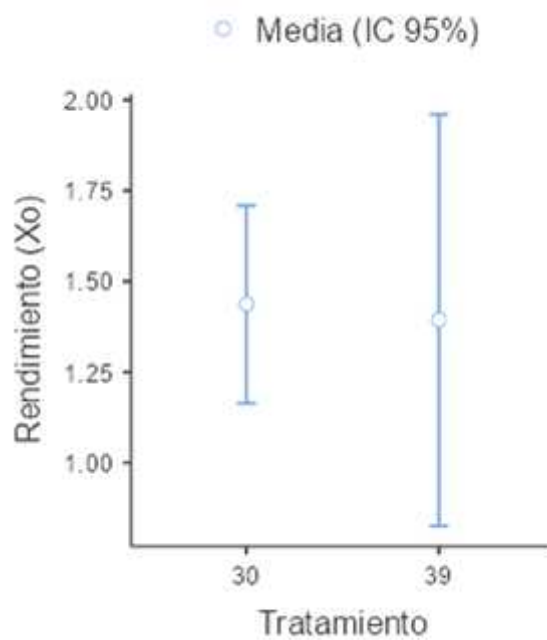
Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

	F	gl1	gl2	P
Rendimiento (Xo)	1.50	1	4	0.28798
Fenólicos totales (FT)	1.85	1	4	0.24516
ABTS	5.63	1	4	0.07652
DPPH	2.21	1	4	0.21158

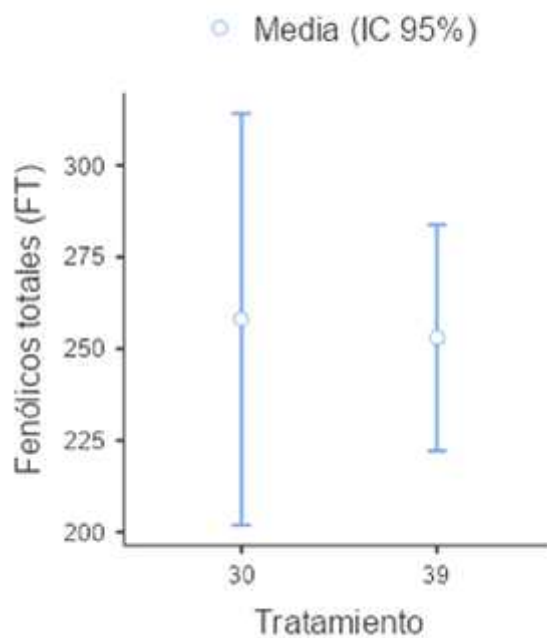
Anexo 13

Gráficos

Rendimiento (Xo)

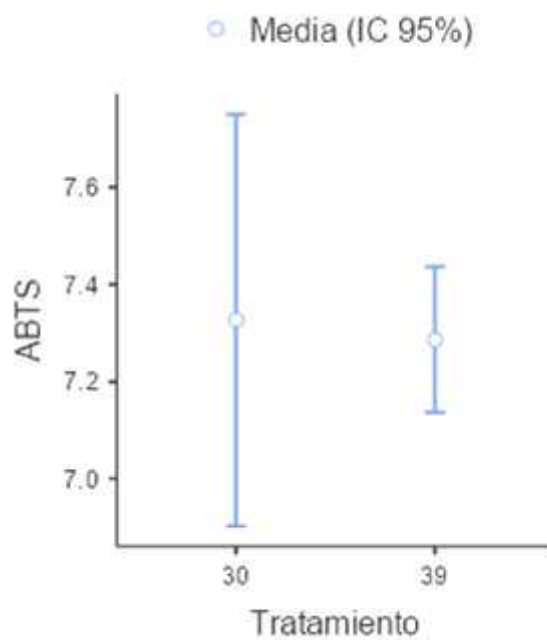


Fenólicos totales (FT)

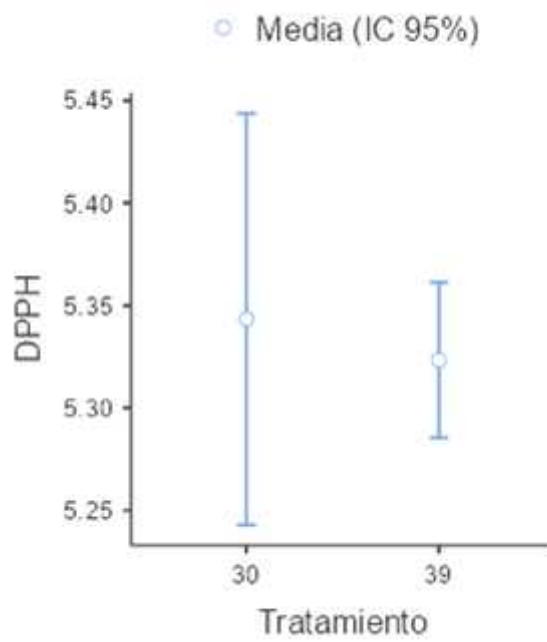


Anexo 14

ABTS



DPPH



Anexo 15

Pruebas Post Hoc

<i>Tukey Post-Hoc Test – Rendimiento (Xo)</i>			
		30	39
30	Diferencia de medias	—	0.0433
	valor p	—	0.7816
39	Diferencia de medias		—
	valor p		—

<i>Tukey Post-Hoc Test – Fenólicos totales (FT)</i>			
		30	39
30	Diferencia de medias	—	5.04
	valor p	—	0.7519
39	Diferencia de medias		—
	valor p		—

<i>Tukey Post-Hoc Test – ABTS</i>			
		30	39
30	Diferencia de medias	—	0.0400
	valor p	—	0.7210
39	Diferencia de medias		—
	valor p		—

<i>Tukey Post-Hoc Test – DPPH</i>					
		30	39		
30	Diferencia de medias	—	0.0200		
	valor p	—	0.4676		
39	Diferencia de medias		—		
	valor p		—		
<i>Descriptivas de Grupo</i>					
	Tratamiento	N	Media	DE	EE
Rendimiento (Xo)	10	3	1.44	0.1097	0.0633
	15	3	1.51	0.0569	0.0328
	20	3	1.79	0.1296	0.0748
	25	3	1.70	0.2709	0.1564
	30	3	2.47	0.2464	0.1423
	35	3	2.49	0.1605	0.0927
	40	3	2.41	0.1918	0.1107
	45	3	2.92	0.2057	0.1188
	10	3	257.99	22.5626	13.0265
Fenólicos totales (FT)	15	3	353.21	20.1607	11.6398
	20	3	450.76	27.7413	16.0165
	25	3	504.12	15.9766	9.2241
	30	3	601.46	61.8062	35.6838
	35	3	677.86	49.1850	28.3970
	40	3	715.20	87.1634	50.3238
	45	3	733.57	9.7136	5.6082
	10	3	7.33	0.1704	0.0984
	15	3	15.39	1.1065	0.6388
ABTS	20	3	20.90	0.6722	0.3881
	25	3	25.93	0.1124	0.0649
	30	3	27.63	0.6520	0.3764
	35	3	31.33	0.6351	0.3667
	40	3	35.36	0.9248	0.5339
	45	3	42.04	0.2252	0.1300
	10	3	5.34	0.0404	0.0233
	15	3	11.20	0.2506	0.1447
	20	3	16.06	0.1050	0.0606
DPPH	25	3	19.97	0.1305	0.0754
	30	3	20.19	0.6407	0.3699
	35	3	23.98	0.4611	0.2662
	40	3	27.63	0.1850	0.1068
	45	3	30.87	0.4430	0.2558

Anexo 16

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

	W	p
Rendimiento (Xo)	0.968	0.6244
Fenólicos totales (FT)	0.958	0.4074
ABTS	0.935	0.1256
DPPH	0.956	0.3561

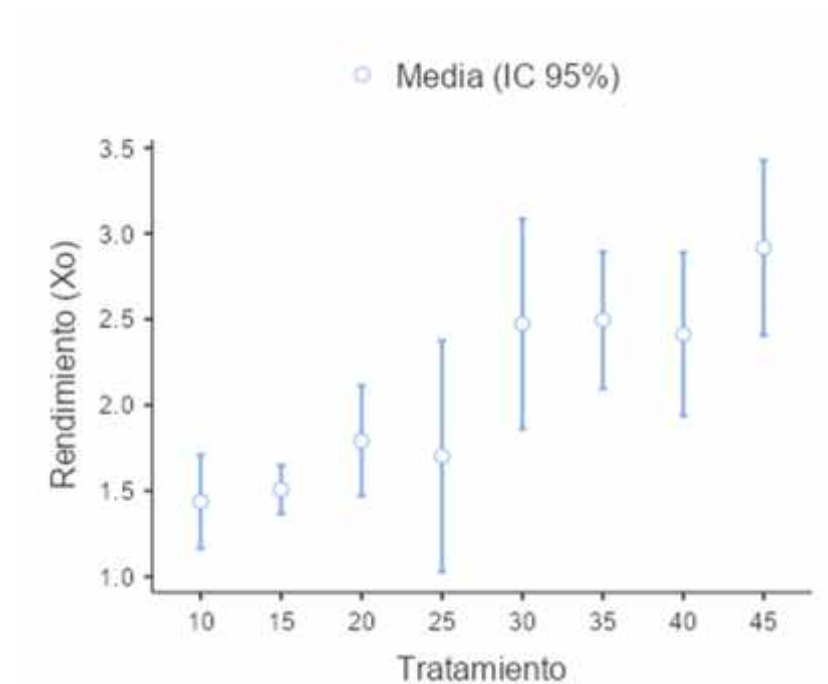
Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

	F	gl1	gl2	p
Rendimiento (Xo)	0.927	7	16	0.51228
Fenólicos totales (FT)	2.180	7	16	0.09323
ABTS	3.265	7	16	0.02368
DPPH	2.346	7	16	0.07484

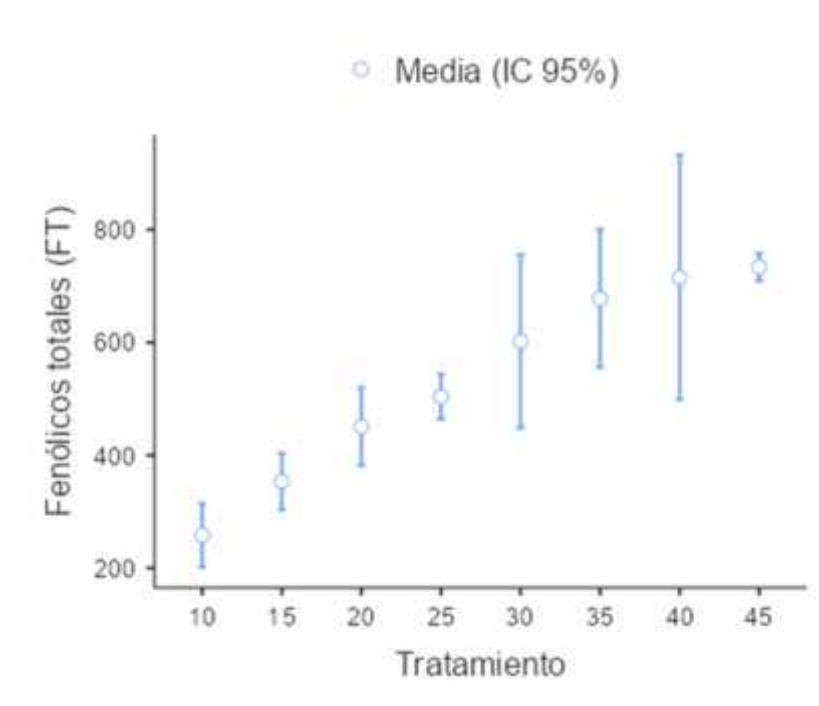
Gráficos

Rendimiento (Xo)

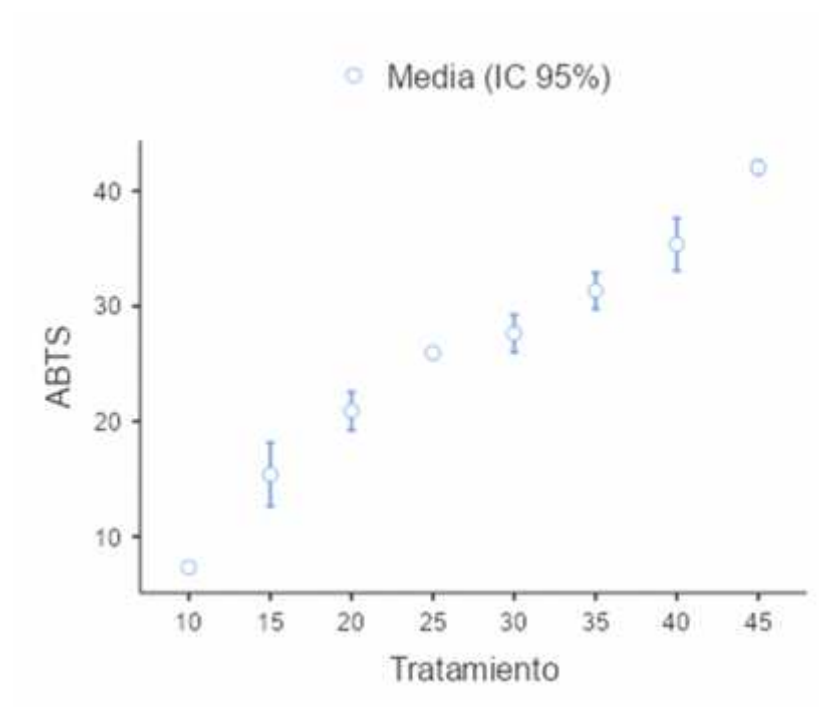


Anexo 17

Fenólicos totales (FT)

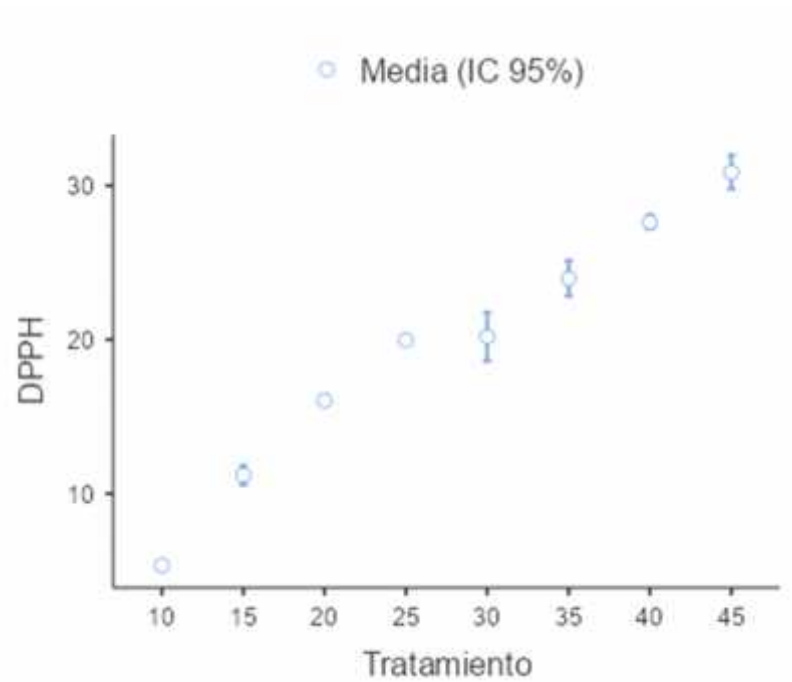


ABTS



Anexo 18

DPPH



Pruebas Post Hoc

Tukey Post-Hoc Test – Rendimiento (Xo)									
		10	15	20	25	30	35	40	45
10	Diferencia de medias	—	-	-0.354	-0.2656	-1.036	-1.0571	-0.9756	-1.480
	valor p	—	0.0700	0.3244	0.6479	7.783e-5	6.131e-5	1.586e-4	7.769e-7
15	Diferencia de medias		—	-0.284	-0.1956	-0.966	-0.9871	-0.9056	-1.410
	valor p		—	0.5759	0.8854	1.769e-4	1.383e-4	3.685e-4	1.506e-6
20	Diferencia de medias			—	0.0882	-0.683	-0.7033	-0.6217	-1.126
	valor p			—	0.9986	0.006225	0.004756	0.013701	2.817e-5
25	Diferencia de medias				—	-0.771	-0.7915	-0.7099	-1.215
	valor p				—	0.001995	0.001531	0.004363	1.084e-5
30	Diferencia de medias					—	-0.0208	0.0608	-0.444
	valor p					—	1.000000	0.999874	0.12554
35	Diferencia de medias						—	0.0816	-0.423
	valor p						—	0.999138	0.15881
40	Diferencia de medias							—	-0.505

	valor p		—	0.06074
	Diferencia de medias			—
45	valor p			—

Tukey Post-Hoc Test – Fenólicos totales (FT)									
		10	15	20	25	30	35	40	45
	Diferencia de medias	—	-95.2	-192.8	-246.1	-343.5	-419.9	-457.2	-475.6
10	valor p	—	0.2186	0.001436	9.738e-5	1.380e-6	8.352e-8	2.455e-8	1.388e-8
	Diferencia de medias		—	-97.6	-150.9	-248.3	-324.6	-362.0	-380.4
15	valor p		—	0.197375	0.01337	8.794e-5	2.947e-6	6.721e-7	3.379e-7
	Diferencia de medias			—	-53.4	-150.7	-227.1	-264.4	-282.8
20	valor p			—	0.81324	0.01352	2.474e-4	4.097e-5	1.773e-5
	Diferencia de medias				—	-97.3	-173.7	-211.1	-229.4
25	valor p				—	0.19925	0.003937	5.556e-4	2.201e-4
	Diferencia de medias					—	-76.4	-113.7	-132.1
30	valor p					—	0.453700	0.09236	0.03625
	Diferencia de medias						—	-37.3	-55.7
35	valor p						—	0.96303	0.78059
	Diferencia de medias							—	-18.4
40	valor p							—	0.99946
	Diferencia de medias								—
45	valor p								—

Tukey Post-Hoc Test – ABTS									
		10	15	20	25	30	35	40	45
	Diferencia de medias	—	-8.06	-13.57	-18.61	-20.30	-24.00	-28.03	-34.71
10	valor p	—	1.759e-9	7.189e-13	2.376e-14	2.320e-14	2.276e-14	2.265e-14	2.265e-14
	Diferencia de medias		—	-5.51	-10.55	-12.24	-15.94	-19.97	-26.65
15	valor p		—	4.303e0-7	3.013e-11	3.850e-12	4.596e-14	2.320e-14	2.265e-14

	Diferencia de							
20	medias	—	-5.03	-6.73	-10.43	-14.46	-21.14	
	valor p	—	1.505e0-6	2.525e0-8	3.505e-11	2.269e-13	2.309e-14	
	Diferencia de							
25	medias		—	-1.70	-5.40	-9.43	-16.11	
	valor p		—	0.08661	5.790e0-7	1.519e-10	4.097e-14	
	Diferencia de							
30	medias			—	-3.70	-7.73	-14.41	
	valor p			—	7.757e0-5	3.315e0-9	2.419e-13	
	Diferencia de							
35	medias				—	-4.03	-10.71	
	valor p				—	2.731e0-5	2.449e-11	
	Diferencia de							
40	medias					—	-6.68	
	valor p					—	2.812e0-8	
	Diferencia de							
45	medias						—	
	valor p						—	

Tukey Post-Hoc Test – DPPH								
	1	15	20	25	30	35	40	45
	0							
	Diferencia							
10	de medias	—	-5.86	-10.71	-14.63	-14.850	-18.63	-22.29
	valor p	—	1.365e-11	2.320e-14	2.265e-14	2.265e-14	2.265e-14	2.265e-14
	Diferencia							
15	de medias	—	-4.86	-8.77	-8.993	-12.78	-16.43	-19.67
	valor p	—	1.943e-10	2.986e-14	2.687e-14	2.276e-14	2.265e-14	2.265e-14
	Diferencia							
20	de medias		—	-3.92	-4.137	-7.92	-11.58	-14.81
	valor p		—	5.389e0-9	2.378e0-9	1.003e-13	2.287e-14	2.265e-14
	Diferencia							
25	de medias			—	-0.220	-4.00	-7.66	-10.89
	valor p			—	0.9917	3.893e0-9	1.823e-13	2.309e-14
	Diferencia							
30	de medias				—	-3.78	-7.44	-10.67
	valor p				—	8.969e0-9	3.123e-13	2.320e-14
	Diferencia							
35	de medias					—	-3.66	-6.89
	valor p					—	1.473e0-8	1.223e-12

	Diferencia			
40	de medias		—	-3.23
	valor p		—	8.660e0-8
	Diferencia			
45	de medias			—
	valor p			—

Descriptivas de Grupo

	Tratamiento	N	Media	DE	EE
Rendimiento (Xo)	500	3	2.45	0.1292	0.0746
	1000	3	2.49	0.1605	0.0927
	1500	3	2.42	0.0987	0.0570
	2000	3	2.45	0.1839	0.1062
	2500	3	2.43	0.1563	0.0902
Fenólicos totales (FT)	500	3	694.17	56.7281	32.7520
	1000	3	679.74	70.0630	40.4509
	1500	3	873.10	24.1451	13.9402
	2000	3	881.37	13.8487	7.9955
	2500	3	689.27	31.8663	18.3980
ABTS	500	3	33.01	0.5057	0.2919
	1000	3	31.64	0.5551	0.3205
	1500	3	43.23	0.7238	0.4179
	2000	3	44.38	0.6623	0.3824
	2500	3	32.53	0.9245	0.5337
DPPH	500	3	24.65	0.0586	0.0338
	1000	3	24.43	0.1082	0.0624
	1500	3	32.50	0.4521	0.2610
	2000	3	32.69	0.3661	0.2114
	2500	3	24.23	0.0723	0.0418

Comprobaciones de Supuestos

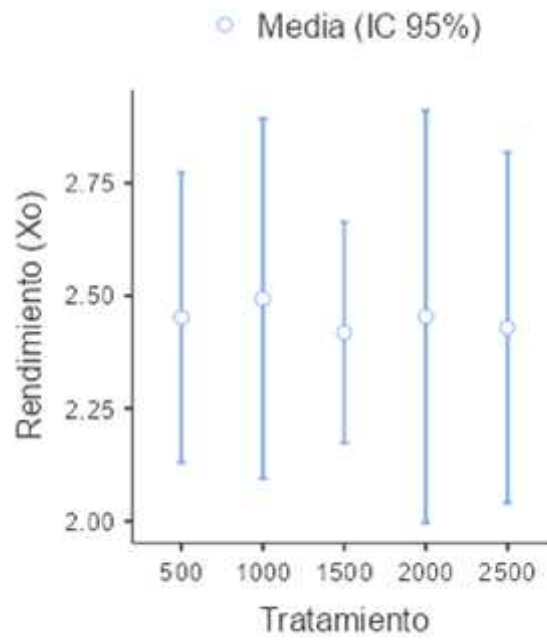
Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)		
	W	p
Rendimiento (Xo)	0.935	0.3284
Fenólicos totales (FT)	0.975	0.9254
ABTS	0.928	0.2544
DPPH	0.956	0.6251
Nota. Un valor p bajo sugiere una violación del supuesto de normalidad		

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas				
	F	gl1	gl2	p
Rendimiento (Xo)	0.434	4	10	0.78155
Fenólicos totales (FT)	3.019	4	10	0.07126
ABTS	0.600	4	10	0.67148
DPPH	5.406	4	10	0.01397

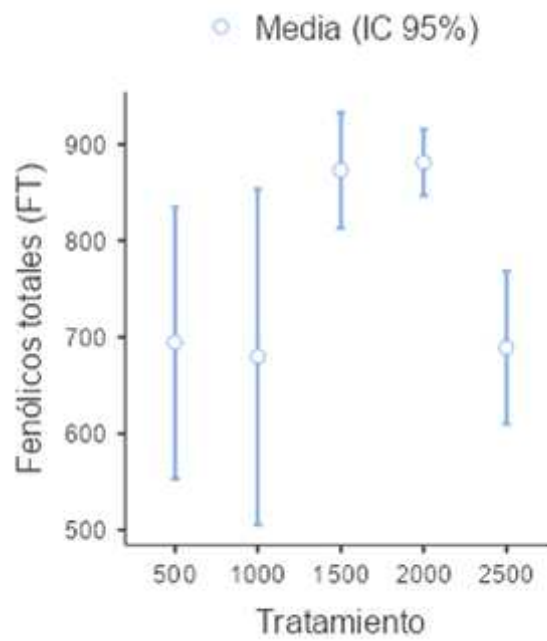
Anexo 19

Gráficos

Rendimiento (Xo)

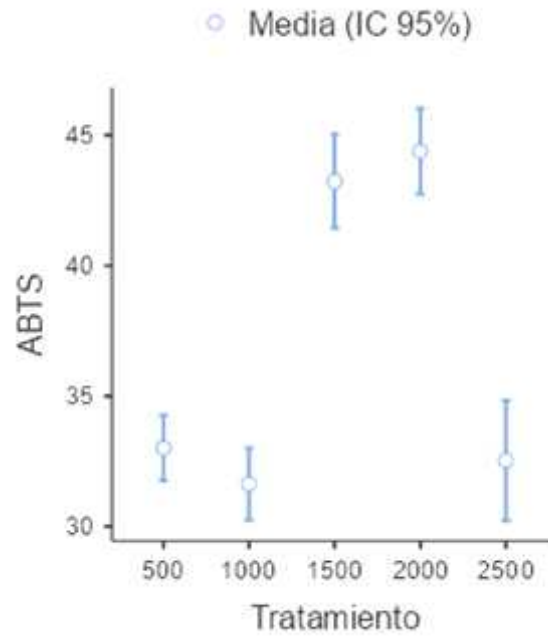


Fenólicos totales (FT)

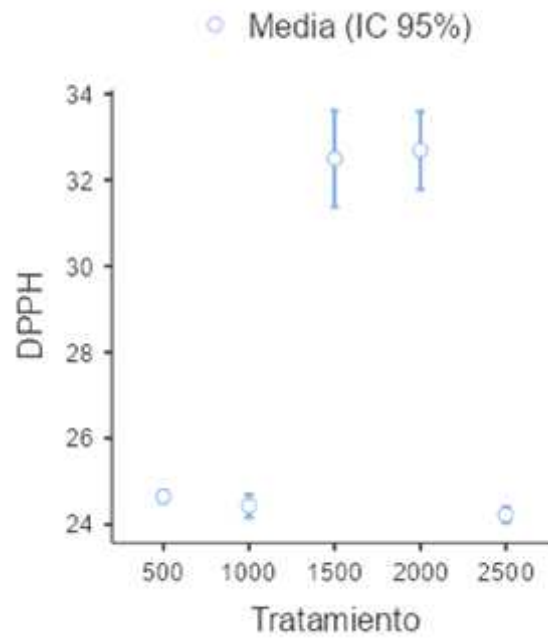


Anexo 20

ABTS



DPPH



Pruebas Post Hoc

Tukey Post-Hoc Test – Rendimiento (Xo)						
		500	1000	1500	2000	2500
500	Diferencia de medias	—	-0.0416	0.0333	-0.00191	0.0226
	valor p	—	0.9965	0.9985	1.0000	0.9997
1000	Diferencia de medias		—	0.0749	0.03969	0.0642
	valor p		—	0.9690	0.9971	0.9822
1500	Diferencia de medias			—	-0.03520	-0.0107
	valor p			—	0.9982	1.0000
2000	Diferencia de medias				—	0.0245
	valor p				—	0.9996
2500	Diferencia de medias					—
	valor p					—

Tukey Post-Hoc Test – Fenólicos totales (FT)						
		500	1000	1500	2000	2500
500	Diferencia de medias	—	14.4	-179	-187.20	4.91
	valor p	—	0.9939	0.004254	0.003077	0.999911
1000	Diferencia de medias		—	-193	-201.64	-9.53
	valor p		—	0.002427	0.001774	0.998773
1500	Diferencia de medias			—	-8.28	183.83
	valor p			—	0.999294	0.003508
2000	Diferencia de medias				—	192.11
	valor p				—	0.002546
2500	Diferencia de medias					—
	valor p					—

Tukey Post-Hoc Test – ABTS						
		500	1000	1500	2000	2500
500	Diferencia de medias	—	1.37	-10.2	-11.37	0.477
	valor p	—	0.1822	4.763e-8	1.556e-8	0.9099
1000	Diferencia de medias		—	-11.6	-12.74	-0.897
	valor p		—	1.240e-8	3.906e-9	0.5336
1500	Diferencia de medias			—	-1.15	10.697
	valor p			—	0.3170	3.006e-8
2000	Diferencia de medias				—	11.843
	valor p				—	9.647e-9
2500	Diferencia de medias					—
	valor p					—
Tukey Post-Hoc Test – DPPH						
		500	1000	1500	2000	2500
500	Diferencia de medias	—	0.217	-7.85	-8.047	0.420
	valor p	—	0.8538	9.249e-11	7.776e-11	0.3667
1000	Diferencia de medias		—	-8.07	-8.263	0.203
	valor p		—	7.638e-11	6.386e-11	0.8791
1500	Diferencia de medias			—	-0.197	8.270
	valor p			—	0.8909	6.347e-11
2000	Diferencia de medias				—	8.467
	valor p				—	5.280e-11
2500	Diferencia de medias					—
	valor p					—

Anexo 21



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Clinica de Diagnóstico de Fitopatología y Nematología
Av. La Universidad s/n La Molina, Apdo. 056-L-12
Celular 9470-14023 e mail: clinica@lamolina.edu.pe



La Molina, 05 de noviembre de 2024
FI-AF 361-2024 WAT 334
ALLM 002

Sres.
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Atención: Ing. Paulo Torres Mayanga

Presente.-

De mi consideración:

El resultado de la evaluación de una muestra de basidiocarpo recolectado y enviado a la Clínica de Diagnóstico de Fitopatología por el Ing. Paulo Torres es el siguiente:

1. METODO.

El material fúngico utilizado fue obtenido a partir del aislamiento de muestras de basidiocarpo y secciones del tronco de madera que mostraban signos de pudrición. Para el aislamiento, se usó porciones de la zona del himeneo, se desinfectaron y fueron sembrados en cámara de flujo. Estas placas fueron incubadas a 25 C durante 10 días.

2. RESULTADOS.

MUESTRA	MÉTODO	RESULTADO
Basidiocarpo	Medio GSM modificado	<i>Ganoderma applanatum</i>

2. DIAGNÓSTICO.

En la muestra que Ud. envió a nuestro laboratorio se ha aislado a *Ganoderma applanatum* como agente causal de la pudrición de la madera.

Nos despedimos de ustedes recordándoles que la Clínica de Diagnóstico está a su disposición para cualquier consulta.

Atentamente,


Mg. Sc Walter Apaza Tapia
COORDINADOR
CLINICA DE DIAGNOSIS

WAT/hmg
c.c. Archivo

Anexo 22



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

**CONTRATO PARA EL ACCESO A LOS RECURSOS GENÉTICOS Y SUS DERIVADOS SIN
FINES COMERCIALES N° CTO-ARG-2023-0004**

Conste por el presente documento el contrato de acceso a los recursos genéticos sin fines comerciales, en adelante **CONTRATO**, que celebran de una parte el **SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE-SERFOR**, en su condición de **AUTORIDAD NACIONAL COMPETENTE - ANC**, con Registro Único de Contribuyente N° 20562836927, con domicilio legal en Av. Javier Prado Oeste N° 2442, distrito de Magdalena del Mar, debidamente representada por el señor Williams Arellano Olano, identificado con DNI N° 42600069 en su calidad de Director de la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal en virtud de la Resolución de Dirección Ejecutiva N° D000002-2023-MIDAGRI-SERFOR-DE, de fecha 04 de enero de 2023, quien procede en uso de las facultades previstas en el literal c) del artículo 13 del Reglamento de Acceso a los Recursos Genéticos y sus derivados, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2021-MINAM y del literal g) del artículo 55° del Reglamento de Organización y Funciones – ROF del SERFOR aprobado mediante Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI y su modificatoria, en adelante **LA ANC**, y de otra parte, el señor Paulo César Torres Mayanga, identificado con DNI N° 44737060, con domicilio legal en Jirón Loreto N° 450, distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima, a quien en adelante se denominará **EL USUARIO**, de conformidad con la legislación aplicable en el Perú y con sujeción a los siguientes términos y condiciones:

1. CLÁUSULA PRIMERA: OBJETO DEL CONTRATO

Las partes suscriben el presente Contrato, con el objeto de dotar de eficacia, el contenido de **Resolución Directoral N° D000134-2023-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF** de fecha 25 de agosto de 2023, en adelante **LA RESOLUCIÓN**, en el extremo del acceso al recurso genético y sus derivados, en mérito a la cual **LA ANC** autoriza a **EL USUARIO**, el acceso a los recursos genéticos y sus derivados sin fines comerciales, para el estudio relacionado al estudio de tecnologías emergentes para valorizar la biodiversidad vegetal y especies silvestres del Perú, e incrementar la generación de nuevo conocimiento científico, así mismo consolidar trabajos teóricos y experimentales para direccionarlas en futuras aplicaciones y transformación en productos de valor añadido, en el marco del proyecto de investigación "Valorización del *Ganoderma applanatum* utilizando ultrasonido de alta potencia, como pretratamiento para mejorar el rendimiento de la extracción de compuestos bioactivos aplicando fluidos supercríticos y líquidos presurizados", cuya eficacia se encuentra sujeta a la suscripción del presente.

LAS PARTES suscriben el presente **CONTRATO** otorgando conformidad a las condiciones establecidas en este.



2. CLÁUSULA SEGUNDA: VIGENCIA DEL CONTRATO

El plazo de vigencia del presente Contrato es de veinticuatro (24) meses, a ser contabilizados a partir de la fecha de su suscripción. La aprobación de la modificación o de la suspensión del plazo de la autorización otorgada por Resolución Directoral N° D000134-2023-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF, conlleva a la modificación o suspensión automática del plazo de vigencia del presente Contrato.

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri





3. CLÁUSULA TERCERA: OBLIGACIONES¹

Las Obligaciones del presente Contrato son las establecidas en el artículo 12 de la Resolución Directoral N° D000134-2023-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF señalada en la Cláusula Primera del presente Contrato.

4. CLÁUSULA CUARTA: USOS ESPECÍFICOS AUTORIZADOS O RESTRICCIONES DE USO

EL USUARIO está obligado a cumplir con los usos específicos y restricciones de uso establecidas en LA RESOLUCIÓN señalada en la Cláusula Primera del presente Contrato.

5. CLÁUSULA QUINTA: MODIFICACIONES Y EXTINCIÓN DEL CONTRATO

Las partes acuerdan que las resoluciones que aprueben la modificación de las condiciones de la autorización otorgada por Resolución Directoral N° D000134-2023-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF, serán incluidas en el presente contrato, así como, que la cancelación de la citada autorización origina la extinción del presente Contrato.

Encontrándose conformes con el presente Contrato, las partes se ratifican en su contenido y lo suscriben en señal de conformidad por duplicado (02 ejemplares), igualmente válidos, en la ciudad de Lima, **31 AGO 2023**

AUTORIDAD NACIONAL COMPETENTE SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE-SERFOR	USUARIO DEL ACCESO A LOS RECURSOS GENÉTICOS Y SUS DERIVADOS
Nombre: Williams Arellano Olano , Director de la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal	Nombre: Paulo César Torres Mayanga , Investigador principal
Firma: 	Firma:  FINANCIADO POR PROCINCIA CONTRATO N° PE-501677914-2022 E041-2022-01

Dr. PAULO CÉSAR TORRES MAYANGA
Responsable Técnico

¹ Resolución Directoral N° D000134-2023-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF

Artículo 11.- De acuerdo con las consideraciones expuestas en la presente resolución, el usuario tiene las siguientes obligaciones: a) Implementar las medidas de seguridad y eliminación de impactos que se puedan producir por el desarrollo de las actividades propias de la investigación, tales como las relacionadas con la toma de datos, tratamiento y transporte de muestras, transporte de equipos, personal, entre otros que pudieran significar un riesgo a las muestras. b) Presentar al SERFOR informes anuales de avances y/o resultados, así como las publicaciones generadas a partir de las investigaciones realizadas, en el marco de las obligaciones contenidas en la autorización de acceso. c) Proporcionar los beneficios no monetarios establecidos en la presente autorización. d) Informar al SERFOR cualquier cambio o modificación a lo establecido en la autorización de acceso. e) Incluir en las publicaciones, investigaciones y resultados la procedencia de los recursos genéticos y sus derivados accedidos, así como la referencia a la autorización o contrato correspondiente. f) Facilitar al SERFOR la integridad de la información en idioma español, relativa a los propósitos, riesgos o implicaciones del acceso, incluyendo los eventuales usos de los recursos genéticos; así como, la información relativa a los antecedentes, estado de la ciencia o de otra índole, que contribuya al mejor conocimiento de la situación relativa a los recursos genéticos, dentro y fuera del territorio nacional. g) Patentar únicamente los productos o procedimientos que hayan sido obtenidos o desarrollados a partir de Recursos Genéticos o de sus productos derivados. h) Entregar al SERFOR, al término de la investigación el Informe Final con los resultados obtenidos y posibles desarrollos científicos y de aplicación futura, dentro de un plazo que no exceda de los dos (02) meses contados desde su finalización respecto del proyecto de investigación científica autorizado, de acuerdo a los términos señalados en el Anexo 1. Dicho Informe Final debe contener las publicaciones que realice en base a los recursos genéticos accedidos, al tratarse de publicaciones, estas se harán con conocimiento previo del SERFOR debiendo, en este caso, reconocerse expresamente el origen de los recursos genéticos accedidos, asimismo, entregar conjuntamente con el Informe Final, el cumplimiento de los beneficios no monetarios.

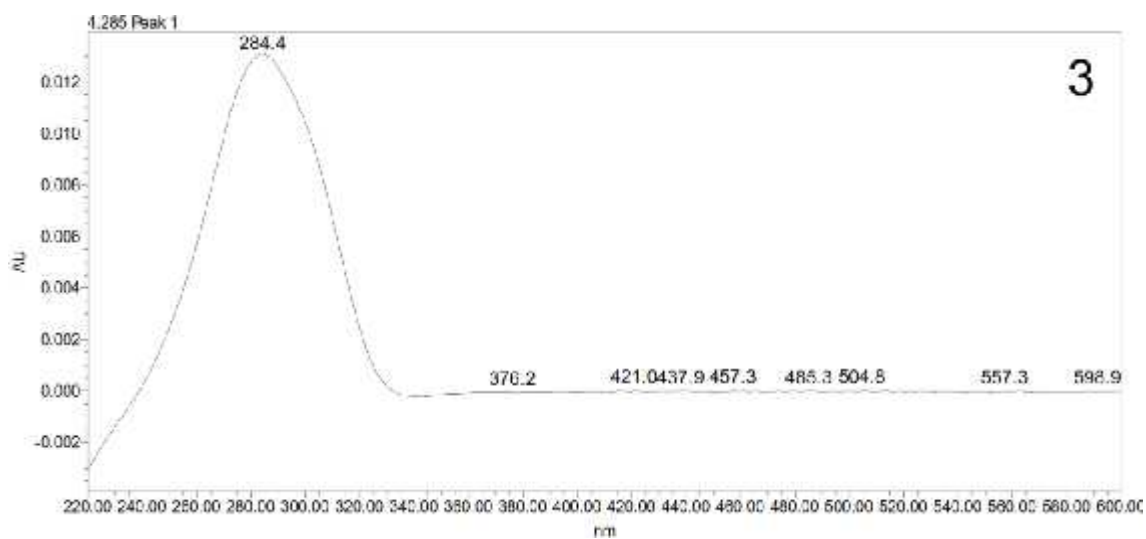
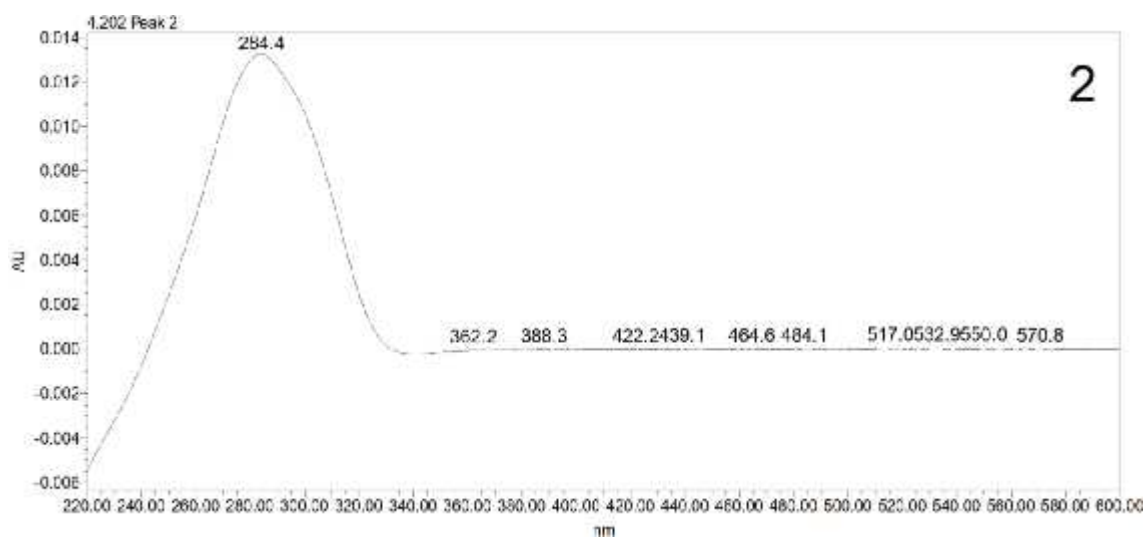
Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Oromontia, Magdalena del Mar - Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri

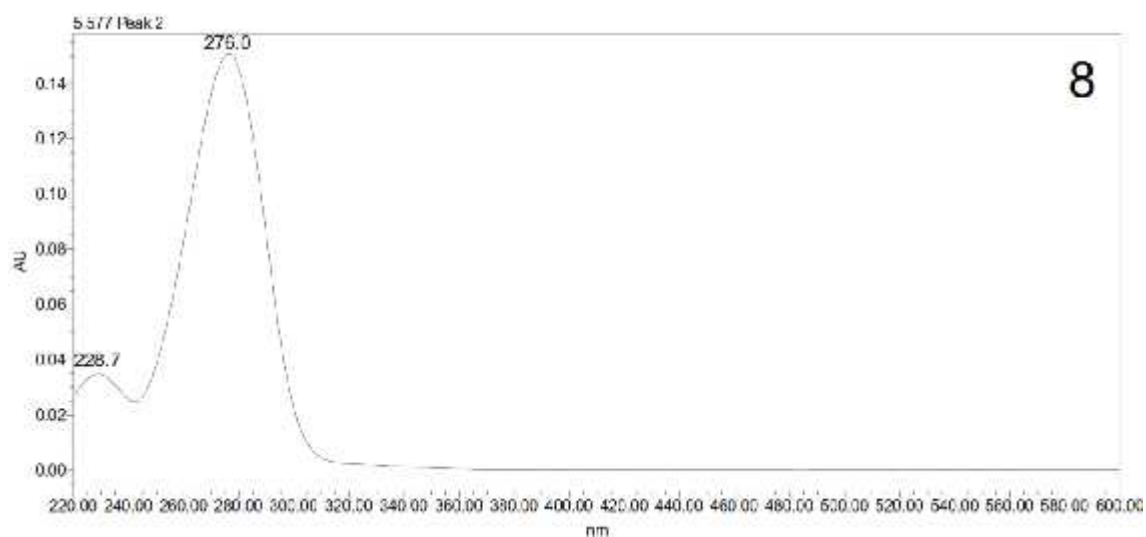
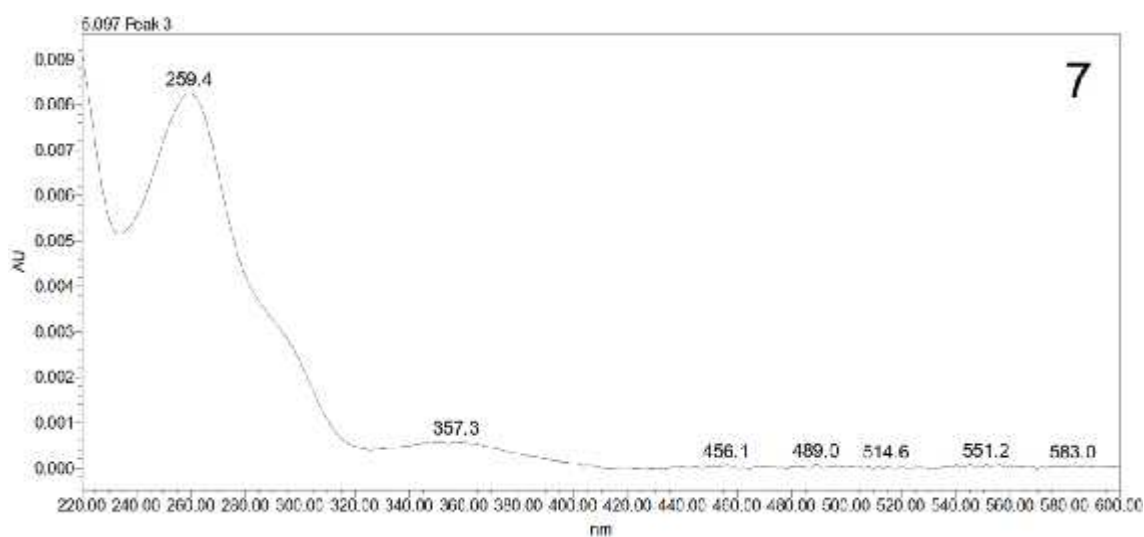
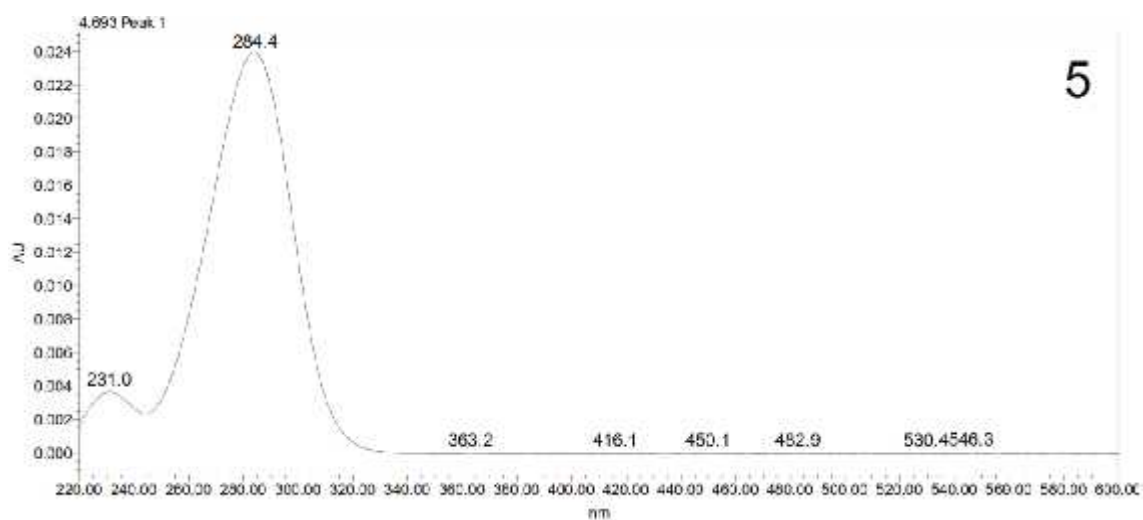


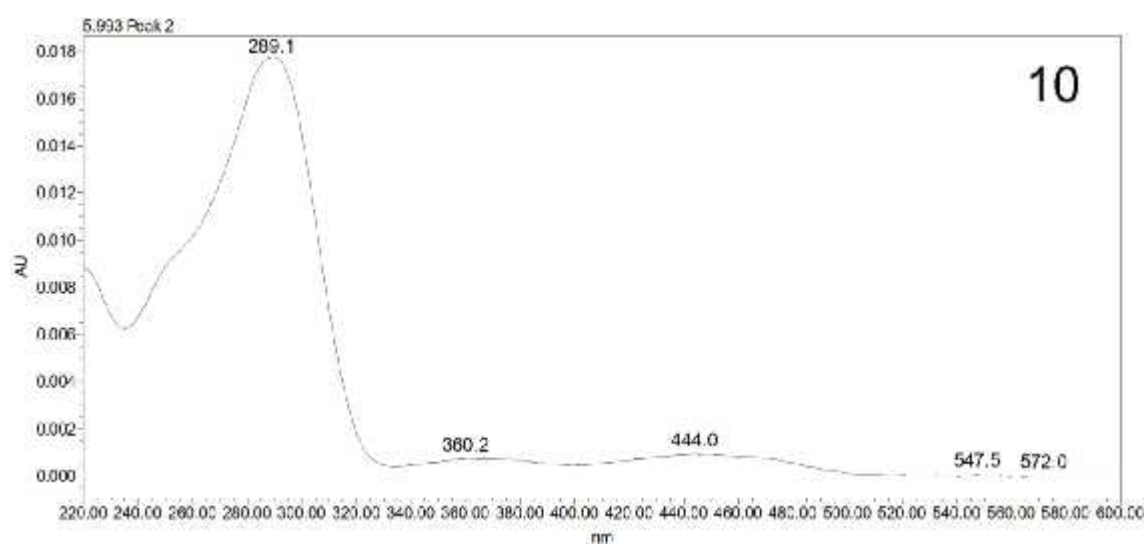
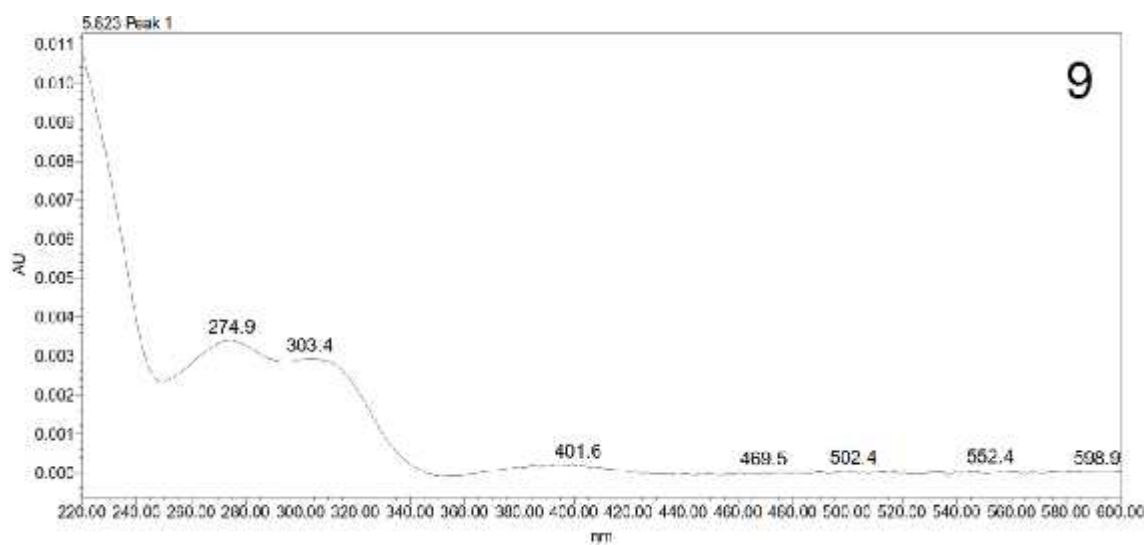
BICENTENARIO
DEL PERÚ
1821 - 2024

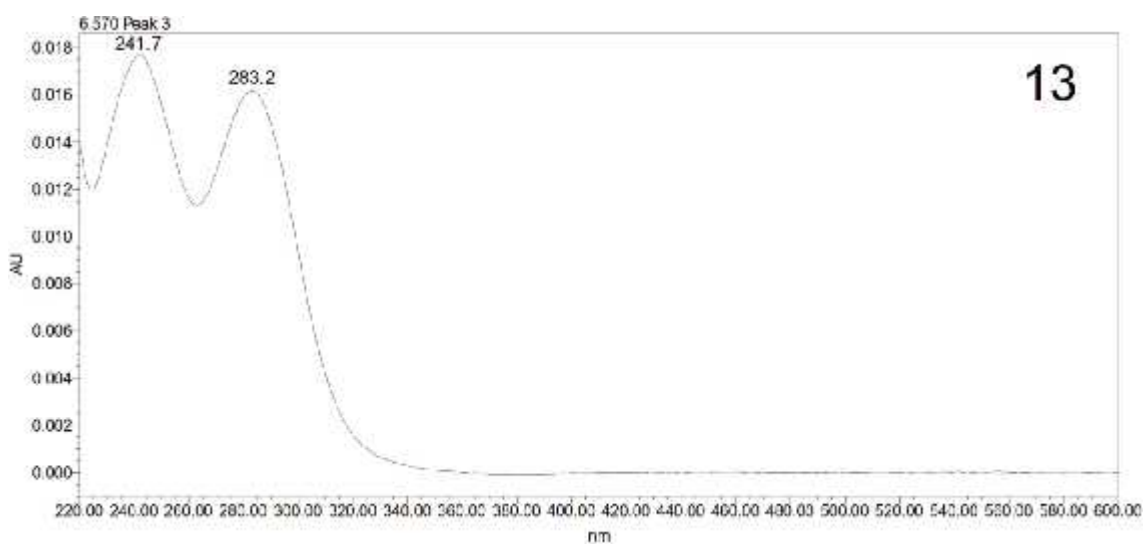
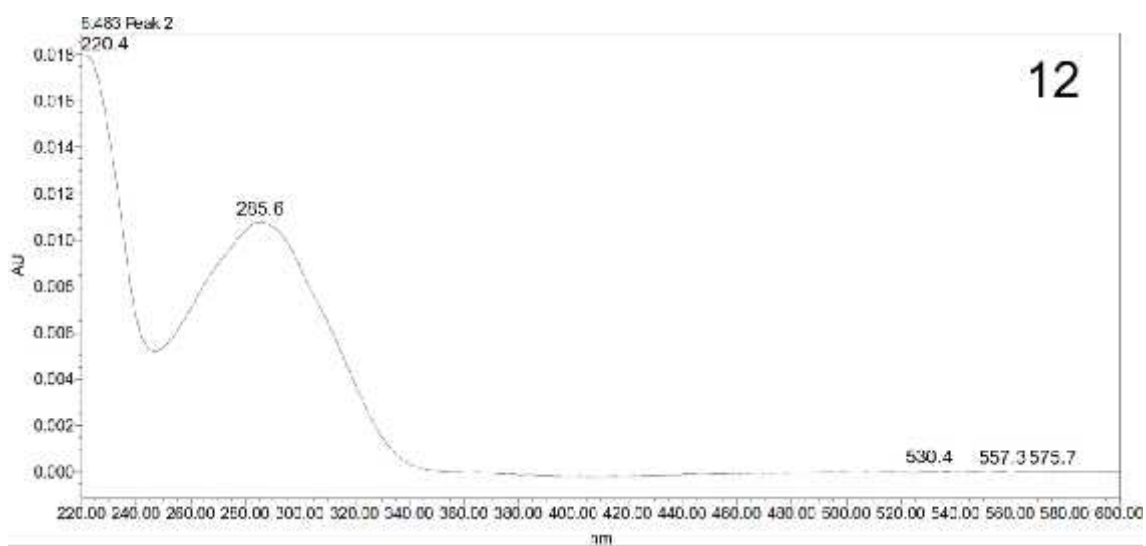
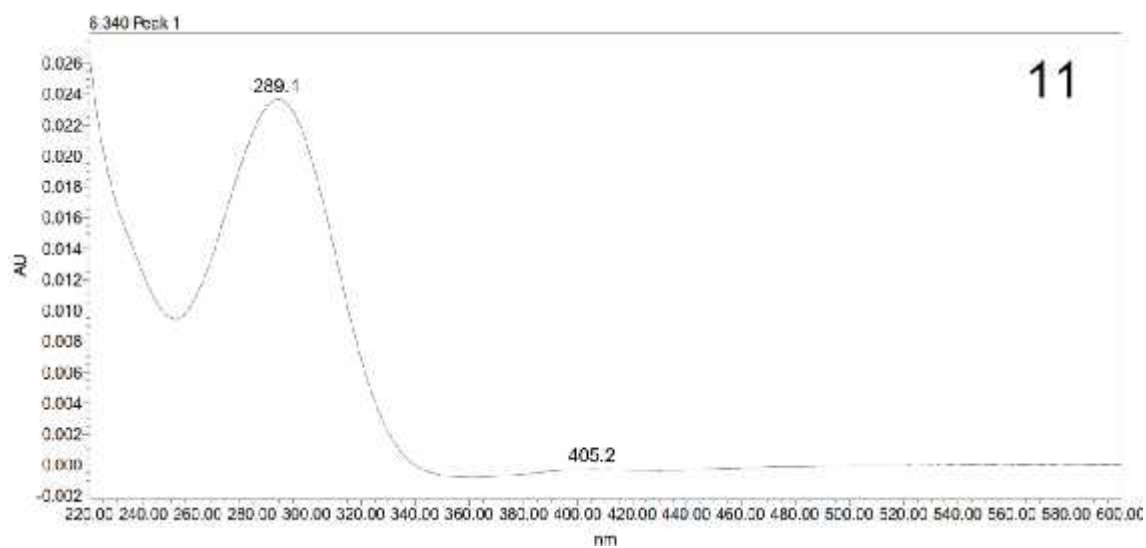
Anexo 23

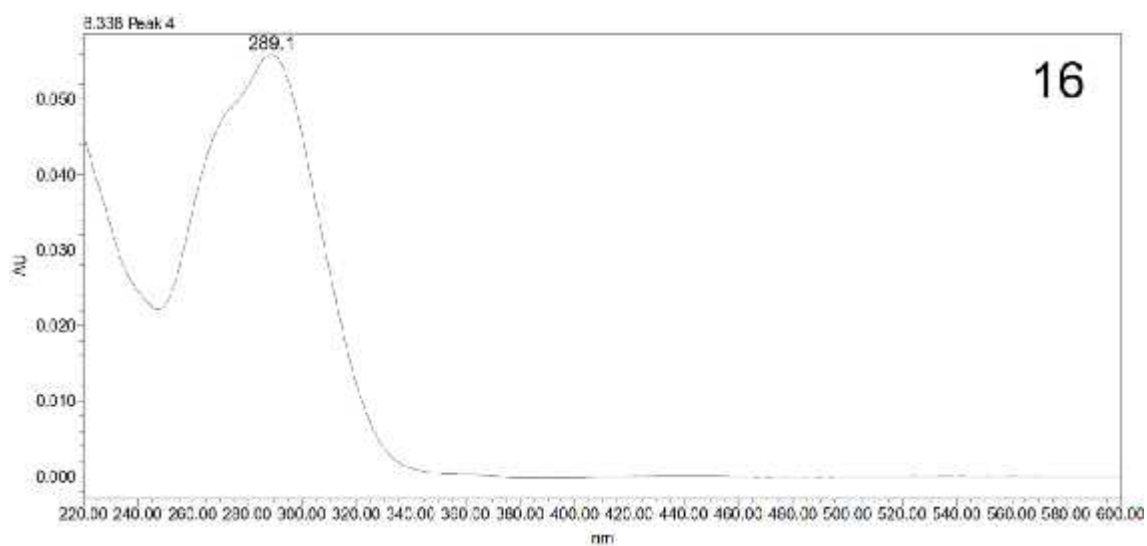
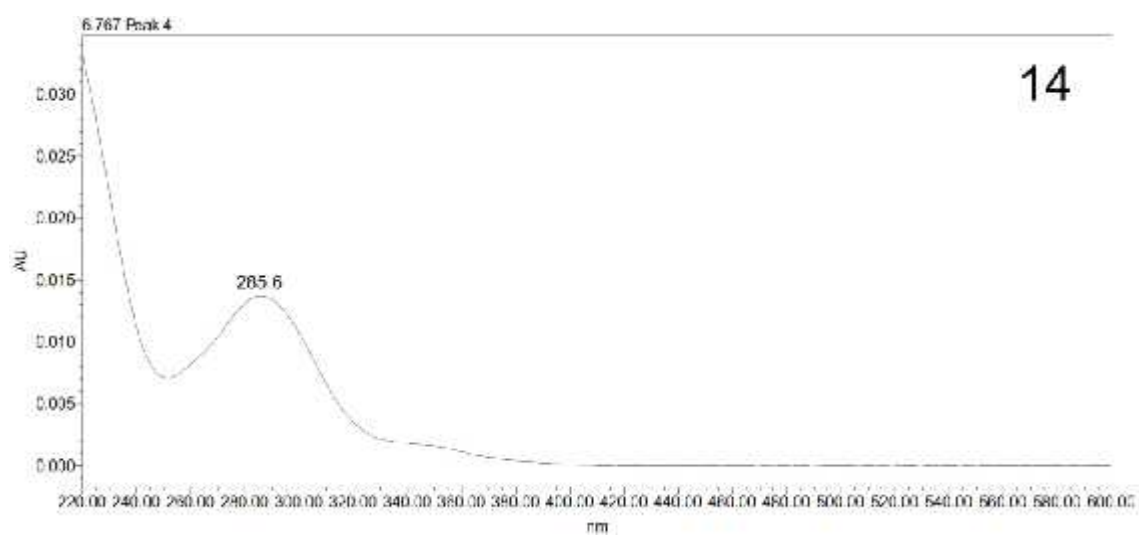
SEÑALES ANALITICAS ENCONTRADOS POR HPLC-DAD

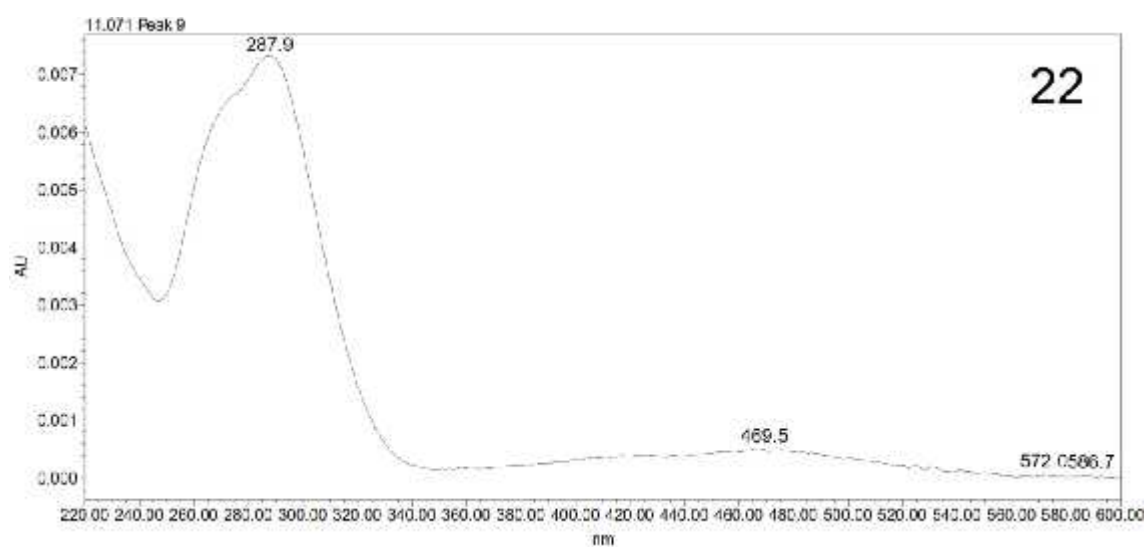
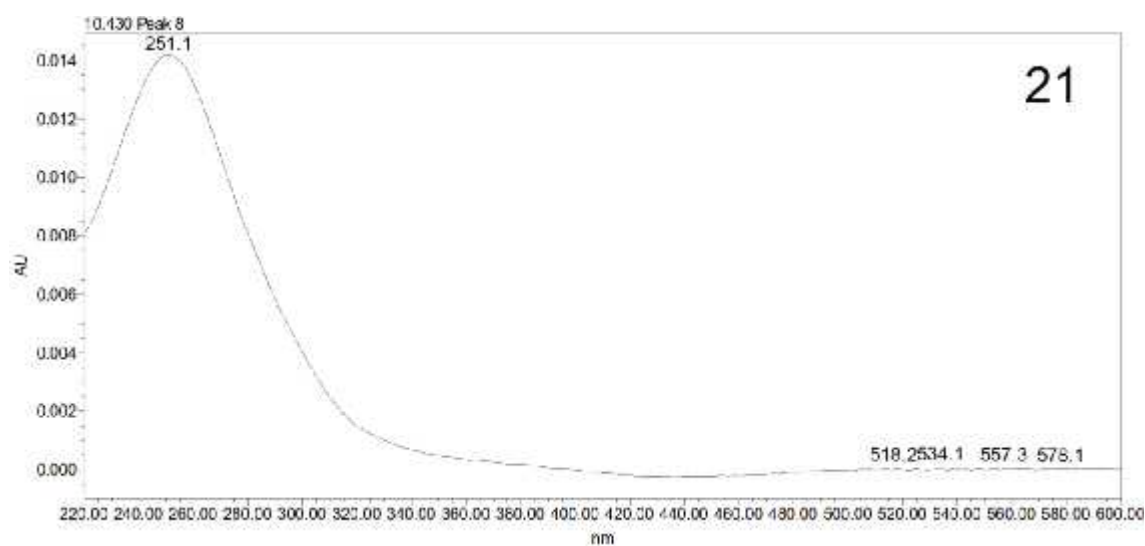
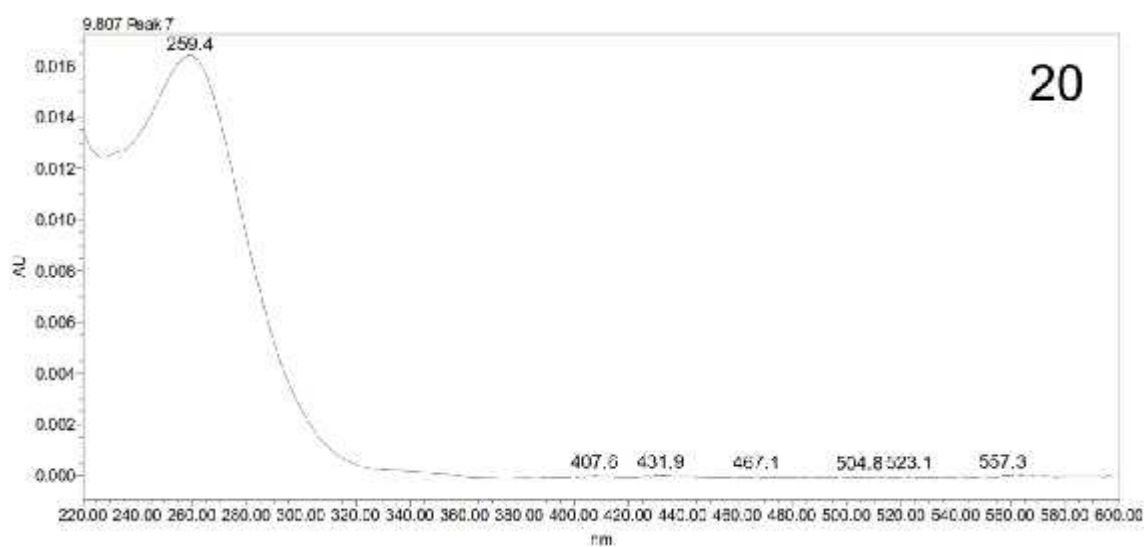


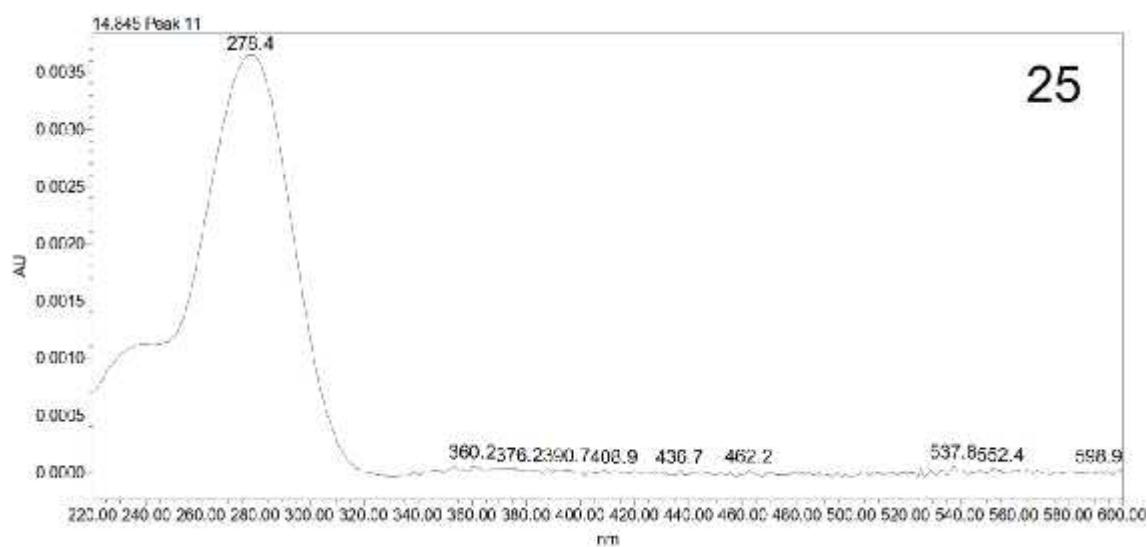
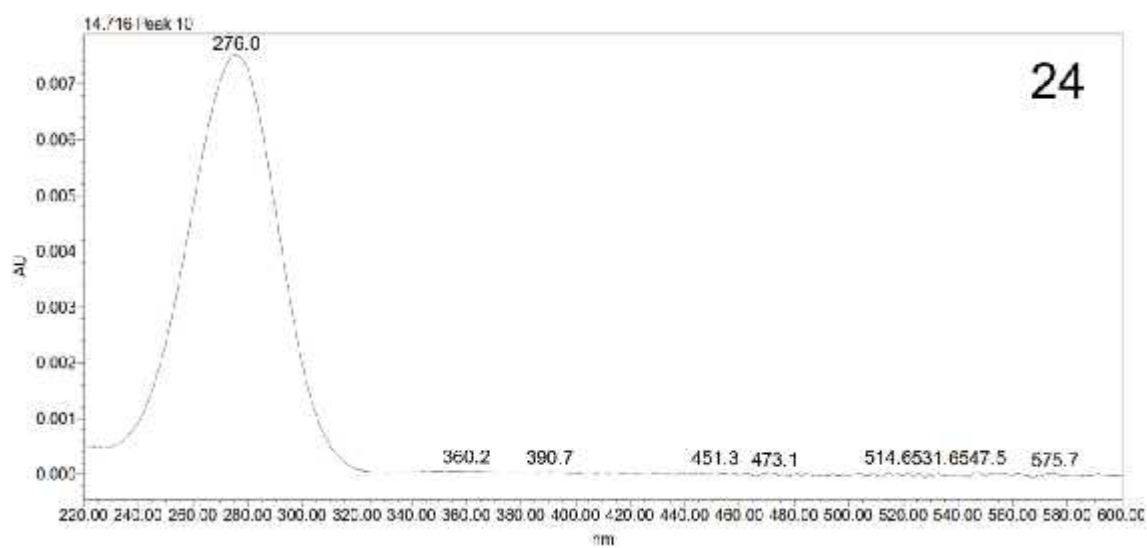


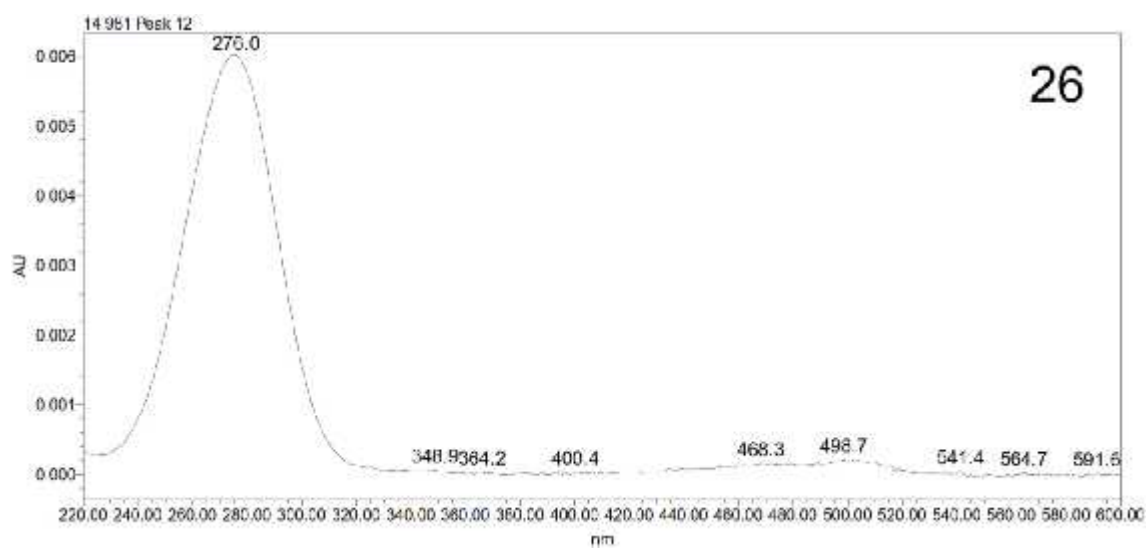




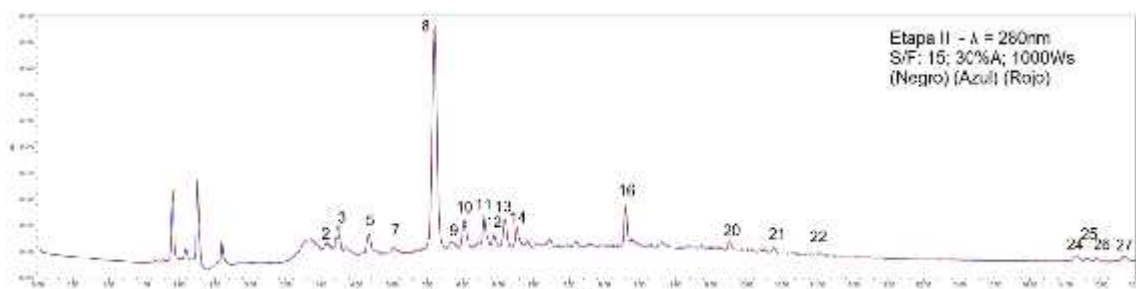
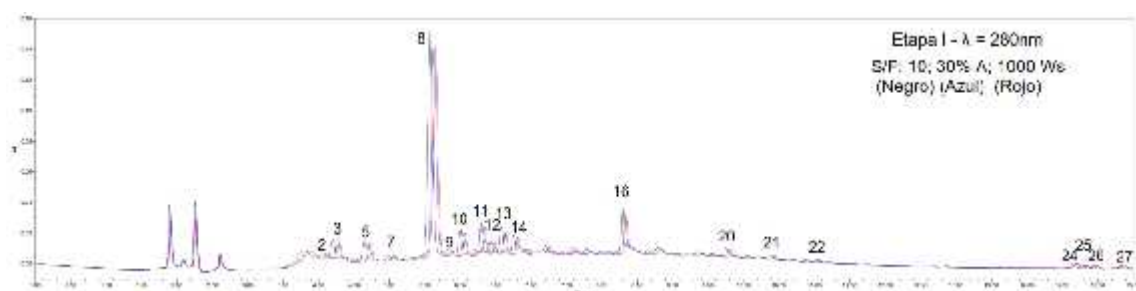


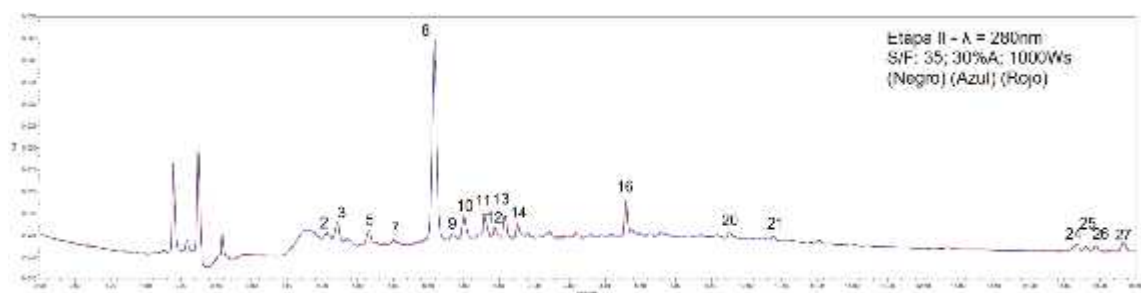
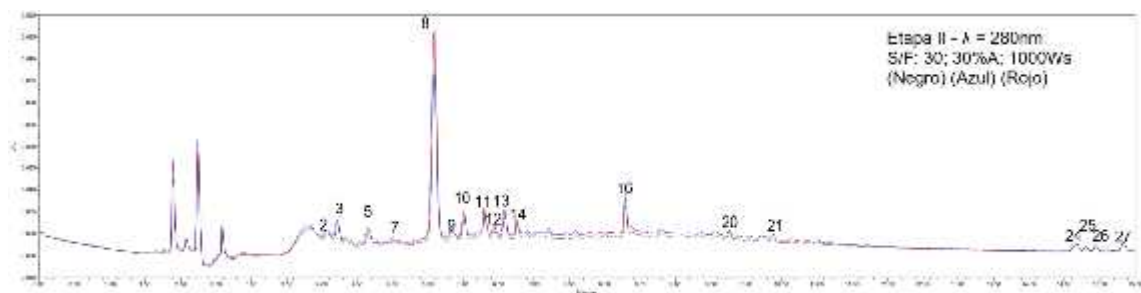
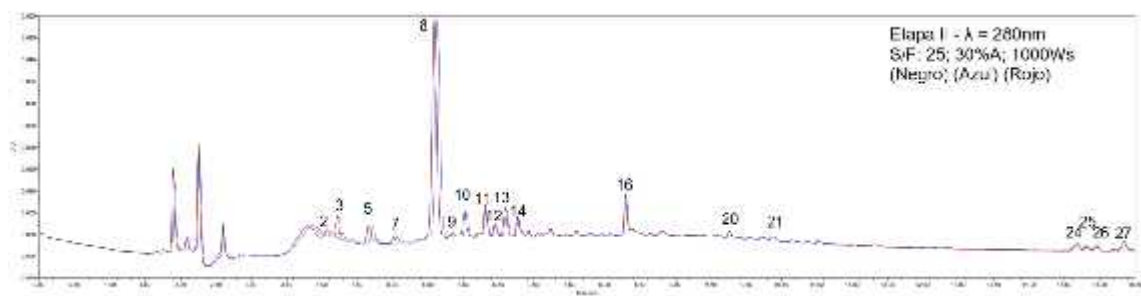
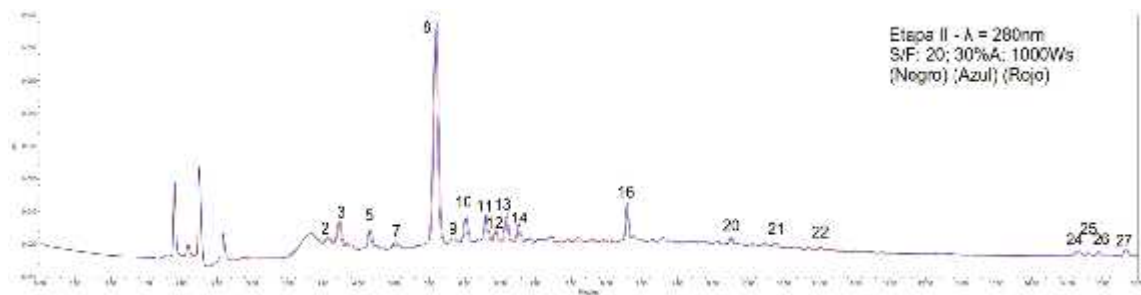


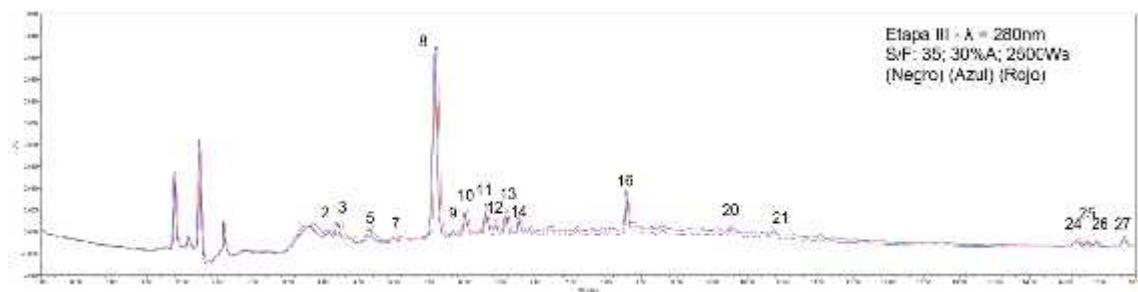
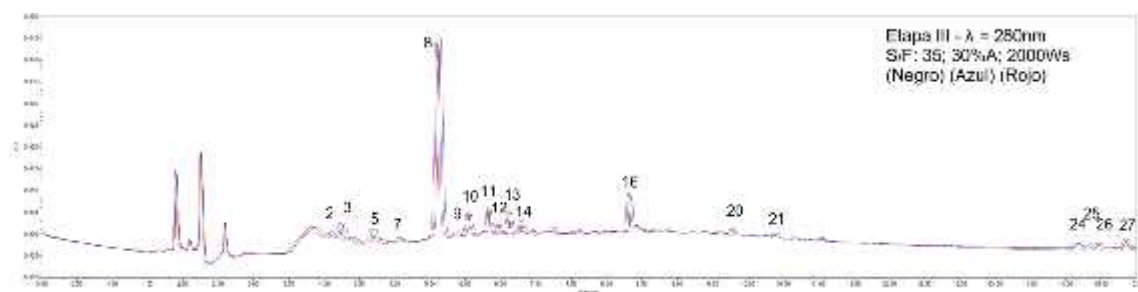
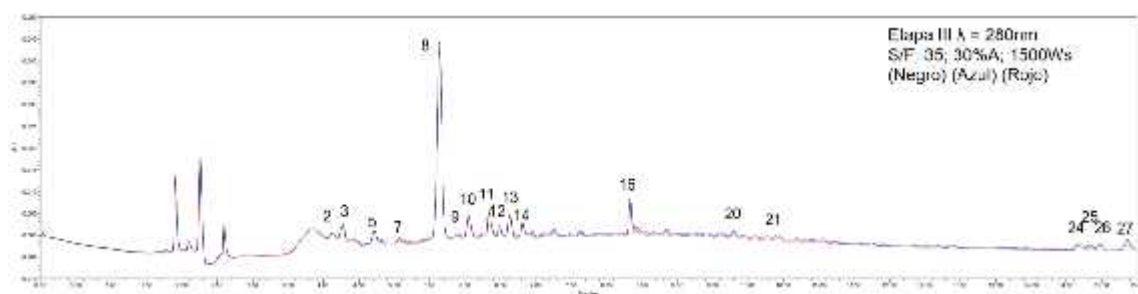
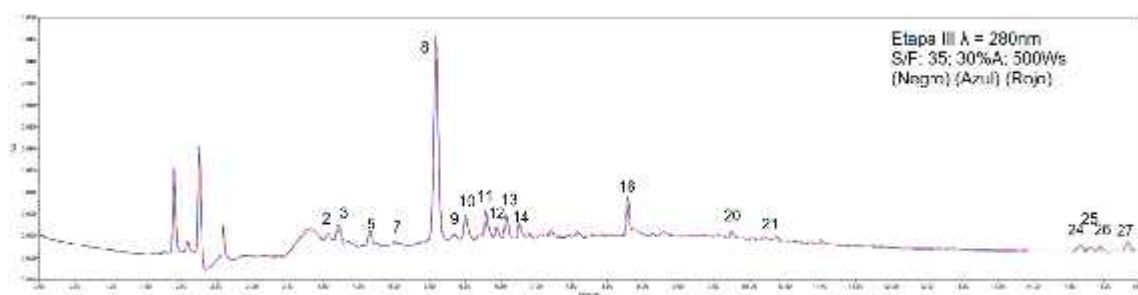
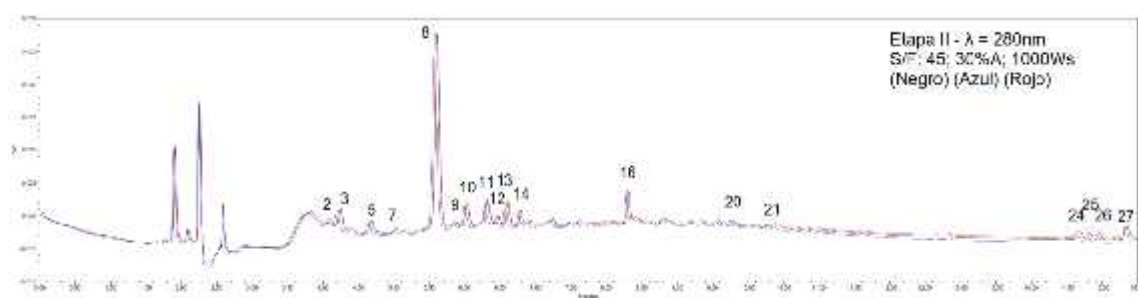




CROMATOGRAMAS HPLC-UV







CROMATOGRAMAS HPLC-MS

