UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESTUDIO DE UN PROCESO ASISTIDO POR ULTRASONIDO PARA OBTENER EXTRACTOS CON POTENCIAL ANTIOXIDANTE Y ANTIHIPERGLUCÉMICO A PARTIR DE RESIDUOS DE *Pleurotus ostreatus*

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. María Estefany Poma Manzano

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Asesor:

Dr. Nils Leander Huamán Castilla

Co-asesor

Dr. Erick Manuel Saldaña Villa

MOQUEGUA – PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Folio N° 28

ACTA DE SUSTENTACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA — UNAM — FEDATARIO

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación de la modalidad de titulación del bachiller:
RESOLUCIÓN DE FACULTAD N°089-2024-FACIA-UNAM

Fecha: .....

III. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE FACULTAD N°0145-2025-D-FACIA-UNAM

Fecha: .....

El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS,
TITULADO: "ESTUDIO DE UN PROCESO ASISTIDO POR ULTRASONIDO PARA OBTENER EXTRACTOS CON POTENCIAL ANTIOXIDANTE Y ANTIHIPERGLUCÉMICO A PARTIR DE RESIDUOS DE *Pleurotus ostreatus*,

Bachiller: MARÍA ESTEFANY POMA MANZANO
Asesor Principal: Dr. NILS LEANDER HUAMÁN CASTILLA
Co-Asesor: Dr. ERICK MANUEL SALDAÑA VILLA

V. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [ ] No [ ]

Opta el Título Profesional de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL.**

Siendo las 18:51 horas, del 05 de JUNIO del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Elías Escobedo Pacheco
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
César A. Nazz Almeyda
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MIKARINA ERIKA EDUARDO PALOMINO
(Nombres y Apellidos)

Miembro Accesitario
.....
(Nombres y Apellidos)

Asesor Principal
Nils Leander Huaman Castilla.
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
María Estefany Poma Manzano
(Nombres y Apellidos)

Co-Asesor
Erick Manuel Saldaña Villa
(Nombres y Apellidos)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESTUDIO DE UN PROCESO ASISTIDO POR ULTRASONIDO PARA OBTENER EXTRACTOS CON POTENCIAL ANTIOXIDANTE Y ANTIHIPERGLUCÉMICO A PARTIR DE RESIDUOS DE *Pleurotus ostreatus*

Tesis sustentada y aprobada el 05 de junio de 2025, estando presentes el jurado calificador y asesor integrado por:

PRESIDENTE: **Dr. Elías Escobedo Pacheco**

PRIMER MIEMBRO: **Dr. César Augusto Napa Almeyda**

SEGUNDO MIEMBRO: **MSc. Karina Erika Eduardo Palomino**

ASESOR: **Dr. Nils Leander Huamán Castilla**

COASESOR: **Dr. Erick Manuel Saldaña Villa**

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la oportunidad de llegar hasta aquí. A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer siempre en mí. A mis amigos, por su compañía, comprensión y por ser parte fundamental en este proceso. A todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a mi crecimiento y desarrollo, gracias por ser parte de esta etapa en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para llegar a este momento de mi vida. Gracias por guiar mi camino, por darme la oportunidad de conocer a personas extraordinarias y por permitirme superar los momentos difíciles.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor, Dr. Nils Huamán, y a mi coasesor, Dr. Erick Saldaña, por su apoyo y orientación a lo largo de este proyecto. Su experiencia, consejos y paciencia fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

A los miembros de mi jurado, Dr. Elías Escobedo, Dr. César Napa y M.Sc. Karina Eduardo, por sus valiosos comentarios y sugerencias que contribuyeron a la mejora de esta tesis.

A mi universidad y escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial, por brindarme la formación y el espacio para crecer tanto personal como profesionalmente. A los docentes que me impartieron diferentes cursos, por compartir su conocimiento, su guía y por ser fundamentales durante mi etapa como estudiante.

A mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi pilar en todo momento. Gracias por sostenerme en los momentos más difíciles y por impulsarme siempre a dar lo mejor de mí.

Finalmente, quiero agradecer a Gabriel, Jhony, Walter y Yorama por su amistad y apoyo incondicional durante este camino. Gracias por estar siempre motivándome en cada paso y por hacer que este proceso fuera mucho más llevadero.

Resumen

Pleurotus ostreatus es un hongo comestible que ha ganado atención en los últimos años debido a su destacado contenido nutricional y propiedades bioactivas. Sin embargo, durante su procesamiento se generan residuos como los estípites o tallos, que son descartados a pesar de su contenido fenólico, cuyas propiedades son beneficiosas para la salud. Por ello, el presente estudio evaluó el efecto de extracción asistida por ultrasonido (EAU) usando solventes tales como agua pura, etanol al 15% e isopropanol al 15% a temperaturas de 30°C y 70°C para obtener extractos con capacidad antioxidante y antihiperglucémica a partir del estípite del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Se analizaron el contenido de polifenoles totales, la capacidad antioxidante por los métodos DPPH y ORAC, el perfil de polifenoles y la capacidad antihiperglucémica a través de la inhibición enzimática de α-amilasa y α-glucosidasa, así como la concentración de metales pesados. Los resultados mostraron que la mejor condición de EAU (agua pura a 30°C) permitió recuperar altas concentraciones de polifenoles totales de 7,57 mg EAG/gss, con capacidad antioxidante de 7,97 mg/mL (DPPH) y de 91,80 µmol ET/gss (ORAC). Para el perfil de polifenoles, altas concentraciones de quercetina (20,890 µg/g), rutina (4.897 µg/g), resveratrol (2.686 µg/g), ácido vanílico (1.536 µg/g), apigenina (0.169), catequina (1.15 µg/g) fueron recuperados con agua a 30°C; mientras que un incremento en la temperatura permitió recuperar procianidina A2 (1.397 µg/g) con etanol 15% a 70°C. En relación a la capacidad antihiperglucémica, el extracto obtenido con agua pura a 30°C inhibió en 31% y 59% la actividad de las enzimas α-amilasa y α-glucosidasa, respectivamente. El contenido de metales pesados (arsénico, cadmio, estaño, mercurio y plomo) presentes en los extractos no supero los límites máximos permisibles de consumo. Estos resultados evidencian el potencial del estípite de *Pleurotus osteratus* como fuente de compuestos fenólicos capaces de inhibir enzimas vinculadas a la diabetes tipo 2, demostrando su posible aplicación en el desarrollo de productos nutraceúticos o farmacológicos orientados al tratamiento de esta enfermedad.

Palabras clave: extracción asistida por ultrasonido, polifenoles, capacidad antioxidante, capacidad antihiperglucémica

Abstract

Pleurotus ostreatus is an edible mushroom that has gained attention in recent years due to its notable nutritional content and bioactive properties. However, during its processing, residues such as stipes or stems are generated, which are discarded despite their phenolic content, whose properties are beneficial for health. Therefore, the present study evaluated the effect of ultrasound-assisted extraction (UAE) using solvents such as pure water, 15% ethanol, and 15% isopropanol at temperatures of 30°C and 70°C to obtain extracts with antioxidant and antihyperglycemic capacity from the stipes of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. The total polyphenol content, antioxidant capacity by the DPPH and ORAC methods, polyphenol profile, and antihyperglycemic capacity through the enzymatic inhibition of α-amylase and α-glucosidase, as well as heavy metal concentration, were analyzed. The results showed that the best UAE condition (pure water at 30°C) allowed the recovery of high concentrations of total polyphenols (7.57 mg GAE/gdw), with antioxidant capacities of 7.97 mg/mL (DPPH) and 91.80 µmol TE/gdw (ORAC). For the polyphenol profile, high concentrations of quercetin (20,890 µg/g), rutin (4,897 µg/g), resveratrol (2,686 µg/g), vanillic acid (1,536 µg/g), apigenin (0.169 µg/g), and catechin (1.15 µg/g) were recovered with water at 30°C; while an increase in temperature allowed the recovery of procyanidin A2 (1.397 µg/g) with 15% ethanol at 70°C. Regarding antihyperglycemic capacity, the extract obtained with pure water at 30°C inhibited the activity of α-amylase and α-glucosidase by 31% and 59%, respectively. The content of heavy metals (arsenic, cadmium, tin, mercury, and lead) present in the extracts did not exceed the maximum permissible limits for consumption. These results highlight the potential of Pleurotus ostreatus stipes as a source of phenolic compounds capable of inhibiting enzymes linked to type 2 diabetes, demonstrating its possible application in the development of nutraceutical or pharmaceutical products aimed at the treatment of this disease.

Keywords: ultrasound-assisted extraction, polyphenols, antioxidant capacity, antihyperglycemic capacity

INDICE

INTRODUCCIÓN 7

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8

1.1. Descripción y formulación del problema 8

1.2. Objetivos 9

1.2.1. Objetivo General 9

1.1.2. Objetivos Específicos 9

1.3. Justificación e importancia 10

1.4. Hipótesis 11

1.4.1. Hipótesis general 11

1.5. Variables 11

II. MARCO TEÓRICO 12

2.1.1. Antecedentes 12

III. Bases teóricas 13

3.1. *Pleurotus ostreatus* (generalidades) 13

3.2. Producción mundial y nacional 14

3.3. Polifenoles y capacidad antioxidante de *Pleurotus ostreatus*.. 14

3.4. Propiedades bioactivas de los polifenoles presentes en *Pleurotus ostreatus* 16

3.5. Métodos de extracción convencionales 18

3.5.1. Métodos de extracción alternativos 18

3.6. Diabetes 21

3.7. Inhibición enzimática 21

3.8. Definición de términos 22

IV. METODOLOGÍA 23

4.1. Tipo y nivel de investigación 23

4.2. Ámbito temporal y espacial 23

4.3. Población y muestra 23

4.4. Instrumentos 23

4.4.1. Materiales 23

4.4.3. Insumos y reactivos 25

4.5. Procedimientos 26

4.5.1. Acondicionamiento de muestra 26

4.5.2. Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU) 27

4.5.3. Determinación de polifenoles totales....27
4.5.4. Determinación de capacidad antioxidante por DPPH....28
4.5.5. Determinación de capacidad antioxidante por ORAC....28
4.5.6. Determinación del perfil de polifenoles específicos....29
4.5.7. Capacidad antihiperglucémico....30
4.5.8. Análisis de metales pesados....31
4.6. Análisis de datos....32
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN....35
5.1. Contenido de polifenoles totales....35
5.2. Capacidad antioxidante por DPPH....37
5.3. Capacidad antioxidante por ORAC....38
5.4. Perfil de polifenoles específicos....39
5.4.1. Ácidos fenólicos....39
5.4.2. Estilbenos....40
5.4.3. Flavanoles....40
5.4.4. Flavonoles....41
5.4.5. Flavona....41
5.4.6. Feniletanoides....42
5.4.7. Secoiridoide....42
5.5. Inhibición enzimática relacionas con la DM2....44
5.5.1. Inhibición de la actividad de α-amilasa....44
5.5.2. Inhibición de la actividad de α-glucosilasa....45
5.6. Metales totales en *Pleurotus ostreatus*....47
VI. CONCLUSIONES....48
VII. RECOMENDACIONES....48
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA....55
IX. ANEXOS....66

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades crónicas tales como la diabetes, el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y las neurodegenerativas, son responsables de una gran carga de mortalidad a nivel mundial (OMS, 2023). La diabetes tipo 2 es una de las enfermedades crónicas con más prevalencia en la actualidad, dicha enfermedad se caracterizada principalmente por niveles elevados de glucosa en sangre debido a la resistencia a la insulina o deficiencia en su producción (Barik et al., 2025; Lalrohlui et al., 2021). Está estrechamente relacionada con factores de estilo de vida, como una dieta poco saludable, la obesidad y la falta de actividad física (Association American Diabetes, 2007). El tratamiento de esta enfermedad demanda un uso prolongado de medicamentos que pueden generar efectos secundarios como problemas gastrointestinales y daño hepático (Barrientos- Ávalos et al., 2024). Por ello, ha crecido el interés en la búsqueda de alternativas naturales para regular la hiperglucemia sin los efectos adversos asociados a los fármacos.

En este contexto, la industria alimentaria de *Pleurotus ostreatus* genera residuos no aprovechados durante su procesamiento, como el estípite (parte no comestible), el cual contiene una fuente valiosa de compuestos bioactivos. Entre estos destacan los polifenoles, que han demostrado propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e hipoglucemiantes (Zhao et al., 2024). Estas propiedades posicionan al estípite como un recurso ideal para el desarrollo de productos nutracéuticos que contribuyan al control de la hiperglucemia en pacientes con diabetes.

Tradicionalmente, la extracción de polifenoles se ha realizado mediante métodos convencionales como la maceración o Soxhlet, que demandan grandes volúmenes de solventes, largos tiempos de procesamiento y ofrecen bajos rendimientos (Martínez-Flores et al., 2021). En contraste, la extracción asistida por ultrasonido, un proceso alternativo y sostenible, utiliza ondas ultrasónicas para generar cavitación en el solvente, lo que facilita la liberación de polifenoles. Este proceso requiere menor tiempo, opera a temperaturas más bajas y emplea solventes verdes como agua, etanol y glicerol, destacándose por ser eficiente y amigable con el medio ambiente (Withouck et al., 2023).

En el presente estudio, se propone la extracción de polifenoles a partir de residuos de *Pleurotus ostreatus* mediante un proceso asistido por ultrasonido, evaluando su capacidad antioxidante y su capacidad antihiperglucémica.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

El cultivo de hongos comestibles ha incrementado en todo el mundo, debido a su alto contenido nutricional y propiedades culinarias (Valverde et al., 2015). En particular, la producción de *Pleurotus ostreatus* conocido como hongo ostra, es la que ha generado mayor interés, debido a su rápido ciclo de crecimiento, adaptación a diferentes condiciones de cultivo y capacidad de crecer en diversos sustratos y residuos agrícolas (Díaz Muñoz et al., 2019). No obstante, la exportación de este producto genera residuos como el estípite, que constituye entre el 10% al 30% del peso total (Jang et al., 2003), cuyo contenido de fibra dificulta su consumo (Dedousi et al., 2024). Estos residuos no presentan ningún valor comercial y al ser desechados representan un problema de gestión ambiental, así como pérdidas económicas a la industria relacionada con este rubro.

Diversos estudios han reportado que *Pleurotus ostreatus* es una fuente natural de polifenoles, con importantes propiedades bioactivas, como: hipoglucemia, hipolipidemia, antitumoral, antioxidante y antiinflamatoria (Nnemolisa et al., 2024; Zhang et al., 2016; Zhao et al., 2024). Los cuales se podrían aprovechar en la industria alimentaria y farmacéutica. Entonces, establecer un método sostenible que permita una adecuada extracción de polifenoles para futuras aplicaciones es una tarea pendiente por resolver.

En el método de extracción convencional, conocido como extracción sólido-líquido, se utilizan solventes como acetona, metanol y hexano; sin embargo, estos solventes son tóxicos y contaminan el medio ambiente, además, el proceso demanda prolongados periodos de tiempo y bajos rendimientos (Do et al., 2014). Contrariamente, se han propuesto métodos alternativos, como la extracción asistida por ultrasonido, donde se utilizan solventes GRAS (Generalmente Reconocido

como Seguro) tales como agua, etanol e isopropanol (Vilkhu et al., 2008). Además, el proceso tiene bajo consumo de energía, bajo costo, menor tiempo de proceso y alta eficiencia (Kumar et al., 2021). Sin embargo, es necesario el estudio de las condiciones de extracción (solvente y temperatura), para obtener un mayor rendimiento en la recuperación de polifenoles.

Por otro lado, la aplicación de los extractos obtenidos como potenciales antihiperglucémicos permitiría a futuro establecer estrategias de uso alimentario y farmacéutico (Zhang et al., 2016). Esto considerando que en el Perú el número de personas con diabetes mellitus tipo 2 (DM2) ha crecido considerablemente, alcanzando el 5.5% de habitantes diagnosticados con dicha enfermedad (INEI, 2023). Entonces, ofrecer al mercado alternativas naturales que permitan reducir los niveles de azúcar en sangre es aún una tarea pendiente por resolver.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la extracción asistida por ultrasonido sobre el contenido de polifenoles, capacidad antioxidante, perfil de polifenoles, potencial antihiperglucémico y contenido de metales en los extractos obtenidos a partir del estípite de *Pleurotus ostreatus*.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de la extracción asistida por ultrasonido combinada con solventes (agua, etanol 15% e isopropanol 15%) a temperaturas moderadas (30 y 70°C) sobre el contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de los extractos obtenidos a partir del estípite de *Pleurotus ostreatus.*
- Evaluar el efecto de la extracción asistida por ultrasonido combinada con solventes (agua, etanol 15% e isopropanol 15%) a temperaturas moderadas (30 y 70°C) sobre el perfil de polifenoles de los extractos obtenidos a partir del estípite de *Pleurotus ostreatus*.
- Evaluar el efecto de la extracción asistida por ultrasonido combinada con solventes (agua, etanol 15% e isopropanol 15%) a temperaturas moderadas (30 y 70°C) sobre capacidad antihiperglucémico de los extractos obtenidos a partir del estípite de *Pleurotus ostreatus*.

- Evaluar el efecto de la extracción asistida por ultrasonido combinados con solventes (agua, etanol 15% e isopropanol 15%) a temperaturas moderadas (30 y 70°C) sobre el contenido de metales pesados de los extractos obtenidos a partir de residuos de *Pleurotus ostreatus*.

1.3. Justificación e importancia

Durante el procesamiento de *Pleurotus ostreatus*, se generan residuos como el estípite, los cuales, al no ser aprovechados ni eliminados de manera adecuada, afectan al medio ambiente. El aprovechamiento de estos residuos podría revalorizar el cultivo de *P. ostreatus* y promover una economía circular.

Se ha evidenciado que el contenido de compuestos bioactivos en *P. ostreatus* son beneficiosas para la salud, ya que presentan propiedades antioxidativas, antiinflamatorias e hipoglucemiantes, las cuales podrían prevenir enfermedades degenerativas como la diabetes. Por ende, son de gran interés industrial, ya que podrían ser aprovechados para la elaboración de productos de alto valor agregado.

En la actualidad, se busca el uso de método alternativos como la extracción asistida por ultrasonido, ya que es más eficiente, económica y amigable con el medio ambiente. Así mismo, la combinación de solventes como agua, metanol e isopropanol y temperaturas moderadas permitirán determinar las condiciones óptimas para una mayor extracción de compuestos bioactivos presentes en el estipíte de *P. ostreatus*.

La diabetes es una enfermedad degenerativa, que se caracteriza por niveles elevados de glucosa en la sangre, ante ello, el consumo de compuestos bioactivos que presenten propiedades hipoglucemiantes, podría prevenir y tratar esta enfermedad (Shamtsyan & Pogacnik, 2020). Si bien este hongo en particular presenta importantes concentraciones de polifenoles con propiedades bioactivas para el tratamiento de enfermedades degenerativas (Zhao et al., 2024), la información sobre la capacidad de inhibición α-glucosidasa y la α-amilasa, enzimas relacionas con la diabetes aún es limitada. Por ello, proponer un estudio que permita un método sustentable para obtener extractos fenólicos con aplicación en la inhibición de enzimas relacionadas con la diabetes tipo 2 permitirá proponer a futuro estrategias para el desarrollo de productos nutraceúticos o farmacológicos.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Es posible que los extractos antioxidantes obtenidos a partir de residuos de *Pleurotus ostreatus* mediante la extracción asistida por ultrasonido combinada con solventes alternativos a temperaturas moderadas presenten potencial antihiperglucémico.

1.5. Variables

Las variables independientes del experimento incluyen el método de extracción, el tipo de solvente y la temperatura, como se detalla en la Tabla 1. Las variables dependientes comprenden el contenido de polifenoles, la capacidad antioxidante (DPPH y ORAC), el perfil de polifenoles, la inhibición de enzimas digestivas (α-amilasa y α-glucosidasa) y la concentración de metales pesados, presentadas en la Tabla 2

Tabla 1. Variables independientes

Variables independientes	Niveles
Método de extracción	Extracción asistida por ultrasonido
Solvente	Agua Etanol 15% Isopropanol 15%
Temperatura	30°C 70°C

Tabla 2. Variables dependientes

Variables dependientes	Unidad
Polifenoles totales	mg equivalente ácido gálico / g sólido seco
Capacidad antioxidante: DPPH	mg/mL
Capacidad antioxidante: ORAC	µmol equivalente a trolox / g sólido seco
Perfil de polifenoles	µg polifenol específico / g sólido seco
Inhibición α-amilasa Inhibición α-glucosidasa	% inhibición enzimática
Metales pesados	mg/kg

II. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes

Effiong et al., (2024) compararon la actividad antioxidante y el contenido fitoquímico de cinco extractos de *P. ostreatus*: acuoso (EA), cloroformo (EC), etanol (EE), metanol (EM) y n-hexano (EH). Dende el extracto acuoso (EA) presentó el mayor contenido de polifenoles totales (24.14 ± 0,02 mg EAG/100g) y con capacidad inhibidora del radical DPPH de 79,45%. Asimismo, esta investigación reportó la presencia de flavonoides y alcaloides presentes en los distintos extractos de *P. ostreatus*, concluyendo que es una fuente rica en antioxidantes, que, en efecto, lo convierte en una alternativa para el tratamiento de trastornos relacionados con el estrés oxidativo.

Janni et al., (2021) evaluaron la influencia de las condiciones de extracción asistida por ultrasonido (disolvente, relación disolvente/sólido, tiempo y temperatura) sobre el contenido total de polifenoles y capacidad antioxidante de muestras de *P. ostreatus.* Los resultados obtenidos mostraron que las condiciones óptimas de extracción, utilizando etanol al 50%, relación de solvente/sólido de 60 mL/g, tiempo de 10 min y temperatura de 30 °C permitieron una mayor recuperación de polifenoles con 423.7 mg EAG/100 g cuya capacidad antioxidante mediante el método DPPH fue de 80.2 mg ET/100 g.

Matkovits et al., (2024) estudiaron el perfil de polifenoles de cultivares de *P. ostreatus* mediante la técnica de UHPLC-ESI-MS/MS y su relación con la capacidad antioxidante, el contenido de polifenoles y aminoácidos libres. Los resultados mostraron que el ácido 4-hidroxibenzoico, el ácido cafeico, el ácido p-cumárico y el ácido vanílico fueron los polifenoles más abundantes en las muestras.

Shamtsyan & Pogacnik, (2020) estudiaron la capacidad antioxidante y antidiabética de extractos acuosos y etanol al 70 % de *P. Ostreatus*. Los resultados probaron que la inhibición del radical DPPH de los extractos tuvieron un IC50 de 30,0 ± 3,2 a 80,5 ± 2,3 %. Respecto a la capacidad antidiabética, los extractos acuosos mostraron mayor inhibición de α-amilasa, alcanzando valores del 47% al 68%.

Sithole et al., (2022) estudiaron el nivel de metales pesados en el sombrero y tallo de *P. ostreatus* mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), donde pudieron identificar los metales de cromo, cobalto, níquel, zinc, cadmio, mercurio y plomo, de los cuales el zinc, cadmio y plomo superaron los niveles máximos permisibles para consumo, también, observaron que los tallos de *P. ostreatus* presentaban concentraciones más altas de metales pesados que en los sombreros.

III. Bases teóricas

3.1. *Pleurotus ostreatus* (generalidades)

El *Pleurotus ostreatus*, conocido como hongo ostra, pertenece a la familia Pleurotaceae y es conocido por su rápido crecimiento, adaptación climática y capacidad para crecer en una amplia variedad de sustratos, desde madera hasta residuos agrícolas (Ogidi et al., 2020).

Una de las características distintivas de este tipo de hongo es su capacidad para crecer tanto epígena como hipógena, lo que significa que puede desarrollarse tanto sobre la superficie del sustrato como dentro del mismo. Esta versatilidad en su forma de crecimiento lo hace perceptible a simple vista para los seres humanos, lo que facilita su cultivo y recolección (Kadam et al., 2023).

Este hongo tiene tres partes distintivas tales como: la cabeza en forma de espátula (píleo), un tallo central corto o largo (estípite) y las crestas debajo del píleo (branquias o laminas) (Figura 1) (Kotadiya et al., 2021).

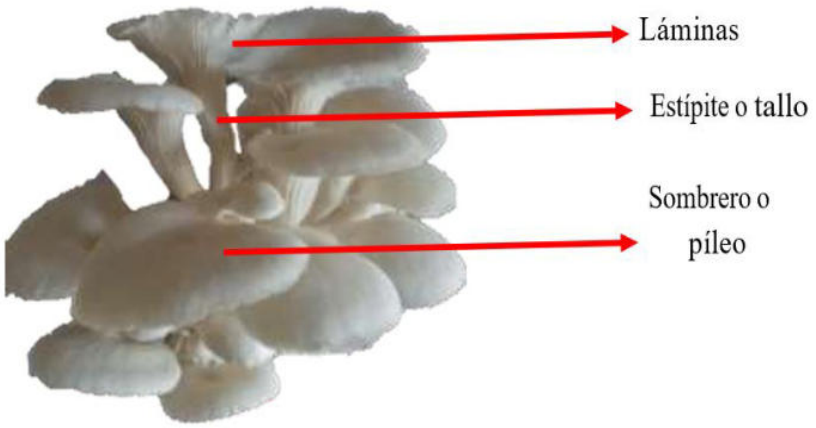


Figura 1. Partes principales de *Pleurotus ostreatus*

Fuente: (Aguchem et al., 2022)

3.2. Producción mundial y nacional

Los hongos comestibles son productos valorados en el mercado debido a su versatilidad culinaria, gracias a su textura y sabor, así como por sus propiedades bioactivas que aportan en la medicina tradicional. Se comercializan en presentaciones frescas, secas y en polvo. A nivel mundial, el mercado de hongos comestibles registró un valor de 67,6 mil millones de dólares en 2023 y se proyecta que el mercado alcance un valor de 116,8 mil millones de dólares en 2032 (IMARC, 2024). China es el principal productor de hongos comestibles a nivel mundial, contribuyendo con aproximadamente el 85% de la producción total, seguido por países como Japón, EE. UU., Canadá e India (M. Singh et al., 2022). Aproximadamente 2 000 especies de hongos son consideradas seguras para el consumo, de las cuales cinco especies son las más cultivadas a nivel mundial: Agaricus bisporus (30%), Pleurotus (27%), Lentinula edodes (17%), Auricularia (6%) y Flammulina (5%) (Dedousi et al., 2023).

En Perú, la exportación de hongos comestibles, incluido el *P. ostreatus*, es una actividad económica importante. Según (PROMPERÚ, 2023), la exportación de este producto alcanzo ~3 millones de dólares (FOB) en el 2024. Los principales mercados de destino fueron Francia (36%), Alemania (35%), Brasil (24.15%), Ecuador (2%) y Chile (1%). Las principales regiones productoras en Perú fueron Tacna (71%), Cusco (18%), Junín (7%), Arequipa (3%) y Lambayeque (1%).

En Cusco, diversas iniciativas están promoviendo la producción de hongos comestibles, con el objetivo de contribuir a la seguridad alimentaria y fortalecer la economía local. En ese sentido, la microempresa Fungí Perú emplea energía solar para la producción de semillas de *P. ostreatus* y champiñones, optimizando costos de producción, mejorando la eficiencia y contribuyendo a la producción sostenible y eco amigable de estos productos (ProInnóvate, 2020). Por su parte, la Asociación de Productores de Hongos conformada por 25 productores del distrito de San Jerónimo, se dedica al cultivo y comercialización de hongos comestibles como *P. ostretaus*, cuyo enfoque consiste en la mejora de la productividad y rentabilidad del cultivo, mediante el análisis de mercado y establecimiento de estrategias comerciales (Condori & Torres, 2021). Por otro lado, en la comunidad de Huayllayccorca, ubicada en el distrito de Ccorca, la producción de *P. ostreatus* se ha consolidado destacándose por su cultivo en residuos agrícolas locales, como

rastrojos de maíz, cebada y avena, demostrando su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales (Huaman, 2023).

3.3. Polifenoles y capacidad antioxidante de *Pleurotus ostreatus*

Los polifenoles son moléculas naturales del metabolismo secundario de las plantas, que actúan como protectores ante la luz ultravioleta, microorganismos patógenos y otras condiciones de estrés hacia la planta (Rasouli et al., 2017). Se caracterizan por tener uno o más anillos aromáticos enlazado con al menos un grupo hidroxilo, que le confieren propiedades antioxidantes (Balasundram et al., 2006).

Un estudio sobre *P. ostreatus* reportó un contenido total de polifenoles que varía entre 5.45 a 8.03 mg EAG/g. Además, presentó una capacidad antioxidante notable, con valores de IC_{50} de 108.07 a 229.17 mg/g para la reducción de radicales catiónicos (ABTS) y ensayo de eliminación de peróxido de hidrógeno, respectivamente (Egra et al., 2019). En otro estudio, se investigó el contenido de polifenoles en hongos ostra cultivados en diferentes sustratos, donde se encontraron niveles más elevados, oscilando entre 302.95 a 586.60 mg EAG/g, cuya capacidad de eliminación de radicales libres DPPH y ABT tuvo un rango de 44% a 65% (Mihai et al., 2022). No obstante, el contenido de polifenoles puede variar significativamente dependiendo de factores como las condiciones de extracción, el estado de maduración de los hongos, factores ambientales y de cultivo.

En particular, el hongo ostra presenta diferentes familias de polifenoles que incluyen ácidos fenólicos, flavonoides, ácidos hidroxicinámicos, ácidos hidrobenzoicos, lignanos, taninos y estilbenos (Thu et al., 2020). Estudios han mostrado el perfil de polifenoles del hongo ostra, siendo el ácido 4-hidroxibenzoico, ácido gálico y ácido cumárico los que han presentado mayor concentración (Tabla 3). Estos compuestos fenólicos son conocidos por su capacidad antioxidante y propiedades bioactivas que son beneficiosas para la salud.

Tabla 3. Perfil de polifenoles de *Pleurotus ostretatus*

Polifenol	Concentración (µg/g)	Fuente
Ácido 4-hidroxibenzoico	98.23 ± 13,43	(Matkovits et al., 2024)
Ácido p-cumárico	50.41 ± 0.85	
Ácido cafeico	1.54 ± 0.54	
Ácido vanilíco	0.29 ± 0.11	
Ácido gálico	56,08 ± 5,40	(Ucar y Karadag, 2019)
Ácido protocatequiico	14,12 ± 3,89	
Ácido clorogénico	11,08 ± 0,19	

3.1. Propiedades bioactivas de los polifenoles presentes en *Pleurotus ostreatus*

Pleurotus ostreatus presenta propiedades bioactivas debido a su contenido de polifenoles. Estos compuestos pueden neutralizar los radicales libres que se forman durante el estrés oxidativo en el cuerpo, previniendo el daño celular, lo que a su vez contribuye a la prevención de enfermedades degenerativas (Tecchio Borsoi et al., 2023).

Los polifenoles presentes en *P. ostreatus* han mostrado una serie de efectos promotores de la salud, debido a sus propiedades bioactivas que comprenden, actividad antioxidante, anticancerígena, hepatoprotectora, hipoglucemiante, antiinflamatoria, antitumoral y antibacteriana. Cuyos detalles se describen a continuación (Tabla 4).

La optimización de tecnologías sustentables de extracción y purificación de estos polifenoles es importante para aprovechar al máximo sus beneficios y facilitar su aplicación en la industria alimentaria y nutracéutica. Esto podría conducir al desarrollo de nuevos productos alimenticios y suplementos nutricionales con propiedades mejoradas para la salud.

Tabla 4. Propiedades bioactivas de los polifenoles presentes en *Pleurotus ostretatus*

Polifenoles	Propiedad bioactiva	Acción en el organismo	Fuente
Ácido gálico Ácido p-cumárico Ácido cafeico Ácido vanilíco Ácido protocatequico Ácido clorogénico	Actividad antioxidante	Aumenta la expresión del gen catalasa y disminuye la incidencia de oxidación de proteínas inducidas por radicales libres, protegiendo así trastornos relaciones con la edad.	(Zhao et al., 2024)
	Actividad hipoglucemiante	Reduce el azúcar en sangre. Mejora la resistencia a la insulina y aumenta el almacenamiento de glucógeno al activar la fosforilación de glucógeno sintasa quinasa-3 y translocación del portador de glucosa tipo 4, procesos clave en la regulación del metabolismo de la glucosa.	(Venturella et al., 2021a)
	Actividad antimicrobiana	Inhiben eficazmente las cepas patógenas, impidiendo su proliferación.	(Parham et al., 2020)
	Actividad antiinflamatoria	Modula la actividad de vías inflamatorias específicas en el cuerpo, como la vía del factor nuclear kappa B (NF-κB) y la vía de señalización de MAP quinasa (MAPK), permitiendo la reducir la inflamación.	(Parham et al., 2020)
	Actividad anticancerígena y antitumoral	Inhiben el crecimiento de células cancerosas y la formación de tumores.	(Ianni et al., 2021)

3.2. Métodos de extracción convencionales

Los métodos convencionales para extraer compuestos polifenólicos incluyen la extracción Soxhlet y maceración. Estos métodos, aunque son comunes, presentan desventajas, debido al uso de solventes peligrosos, alto consumo de solventes, tiempos de extracción prolongados, degradación de compuestos termolábiles, baja selectividad y bajo rendimiento de extracción (Pagano et al., 2021).

El método de extracción por maceración, permite la recuperación de polifenoles mediante la difusión de una matriz sólida hacia una matriz líquida, donde se utilizan solventes orgánicos como la acetona, el metanol y el hexano (Do et al., 2014). Al respecto, un estudio de extracción por maceración de polifenoles presentes en *P. Ostreatus*, demostró que la composición de solvente utilizado en la extracción influyó significativamente en la recuperación de polifenoles, el solvente hexano mostró mayor recuperación de polifenoles (76.495 mg EAG/g), seguido por el acetato de etilo (57.773 mg EAG/g) y luego el etanol (22.495 mg EAG/g) (Egra et al., 2019). Estos resultados sugieren que los solventes pueden tener diferentes niveles de selectividad dependiendo de los polifenoles específicos presentes en la muestra. Sin embargo, además de la eficiencia de extracción es importante considerar la seguridad y el impacto ambiental de los solventes y métodos utilizados.

Frente a este escenario, se han desarrollado métodos de extracción alternativos, como la extracción asistida por ultrasonido, extracción por líquidos presurizados, extracción por líquidos presurizados y extracción por microondas, que ofrecen tiempos de extracción más cortos, volúmenes reducidos de solventes orgánicos, menor uso de energía, mayor selectividad y presentan un mayor rendimiento que los métodos convencionales (Tabla 5) (Khoddami et al., 2013).

3.2.1. Métodos de extracción alternativos

3.2.1.1. Extracción Asistida por Ultrasonido

La extracción asistida por ultrasonido (EAU), es un método eficiente que utiliza la energía de ultrasonido y disolventes para extraer compuestos objetivo de diversas matrices vegetales. Los ultrasonidos son ondas mecánicas con una frecuencia superior al rango audible del oído humano (>20 kHz), y consisten en

ciclos de compresión (agrupación de moléculas) y rarefacción (separación de moléculas) que pueden propagarse a través de medios sólidos, líquidos o gaseosos (Freitas De Oliveira et al., 2016).

Durante la rarefacción en ondas sonoras de alta intensidad, la presión negativa puede separar las moléculas, creando burbujas de cavitación que crecen y colapsan durante la fase de compresión. Este fenómeno genera puntos calientes y condiciones extremas locales, con temperaturas que pueden alcanzar hasta 5000 K y aumentos de presión de hasta 1000 atmósferas. Estos puntos calientes aceleran las reacciones bioquímicas en su entorno cercano, lo que facilita la extracción de compuestos de interés de las matrices vegetales (Chemat et al., 2017; Kumar et al., 2021).

3.2.1.2. Extracción por Líquidos Presurizados

La extracción por presión líquida (ELP), implica una extracción sólido-líquido que se realiza a temperaturas elevadas (50 - 200 °C) y presiones relativamente altas (10-15 MPa), lo que permite operar por encima del punto de ebullición del disolvente (Mustafa & Turner, 2011).

El aumento de temperatura y presión en la extracción por presión líquida tiene varios efectos beneficiosos en el proceso de extracción. Específicamente, favorece la difusión del solvente a través de la matriz sólida, ya que disminuye la viscosidad del disolvente y la tensión superficial, lo que facilita su penetración en la muestra. Esto, a su vez, aumenta la eficiencia de la extracción al mejorar la transferencia de masa de los compuestos de interés desde la matriz sólida al solvente (Pronyk & Mazza, 2009). Además, la alta temperatura y presión pueden reducir la interacción de los compuestos objetivo con la matriz sólida, lo que mejora aún más la eficacia de la extracción. Al minimizar esta interacción, se evita la retención de los compuestos de interés en la matriz sólida y se maximiza su recuperación en el extracto (Pagano et al., 2021).

3.2.1.3. Extracción por Fluidos Supercríticos

La extracción por fluidos supercríticos (EFS), es un método donde la temperatura y la presión de un fluido se elevan por encima de su valor crítico, permitiendo que el fluido en estado supercrítico tenga características tanto de gases como de líquidos (Wang & Weller, 2006).

El dióxido de carbono (CO_2) es el fluido supercrítico más utilizado en esta técnica, debido a sus propiedades apolares, abundante disponibilidad, no tóxico, no inflamable y es seguro para el medio ambiente. Además, después de la extracción, el CO2 se puede eliminar fácilmente mediante descompresión, lo que significa que no deja residuos químicos en el producto final (Abbas et al., 2008).

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los métodos de extracción

Método	Ventajas	Desventajas	Compuestos Recuperados	Fuente
Extracción por maceración	Método estándar y económico Adecuado para muestras líquidas Uso de temperatura ambiente	Uso de solventes peligrosos Tiempo prolongado de proceso Degradación de compuestos bioactivos	Polifenoles Subproductos líquidos de la industria de bebidas	(Espinosa-Alonso et al., 2006)
Extracción Asistida por Ultrasonido	Tiempo de proceso corto Menos consumo de energía Reducción en el uso de solventes Mayor rendimiento de extracción	Se requiere la optimización de condiciones de extracción (frecuencia por ultrasonido)	Polifenoles Carotenoides Lípidos	(Chemat et al., 2017)
Extracción por líquidos presurizados	Adecuado para extraer biomoléculas Menor tiempo de proceso Menor cantidad de solvente Uso de solvente no tóxico	Equipo de alto costo No adecuado en muestras con bajo contenido de analitos	Polifenoles Fitocompuestos	(Mustafa & Turner, 2011)
Extracción por fluido supercrítico	Ahorro de tiempo Proceso respetuoso con el medio ambiente El fluido es de alta presión y se puede reutilizar y reciclar el fluido supercrítico	Las moléculas polares no se disuelven Sistema costoso y complicado de usar	Polifenoles Pigmentos Ácidos grasos Ácidos esenciales	(Abbas et al., 2008)

3.3. Diabetes

La Federación Internacional de Diabetes informó que 537 millones de personas padecen de diabetes a nivel mundial, de las cuales el 90% presenta diabetes mellitus tipo 2 (IDF, 2021). La diabetes tipo 2 comprende un conjunto de trastornos metabólicos crónicos que se caracterizan por un incremento anormal de los niveles de glucosa en sangre, debido a una combinación de resistencia a la insulina y una producción insuficiente de esta hormona (A. Singh et al., 2022).

La progresión de la diabetes tipo 2, está vinculada al desequilibrio de las especies reactivas de oxígeno (ROS) y de las defensas antioxidantes del organismo (Dehghan et al., 2016). Esto da lugar a un estado conocido como estrés oxidativo, que a su vez provoca daños estructurales en órganos como el hígado, riñones, el páncreas y los vasos sanguíneos lo que contribuye al desarrollo de complicaciones micro y microvasculares asociadas con la diabetes (La Sala & Pontiroli, 2020).

3.4. Inhibición enzimática

Una de las estrategias terapéuticas actualmente estudiadas para el control de glucosa en la sangre es la inhibición de las enzimas α-amilasa y la α-glucosidasa. La α-amilasa es una metaloenzima de calcio que tiene un papel importante en la digestión del almidón, ya que cataliza la ruptura de los enlaces α-(1, 4)-d-glucosídicos en el almidón y otros polímeros de glucosa, generando fragmentos de menor tamaño Estos fragmentos son posteriormente degradados por la α-glucosidasa a monosacáridos que pueden ser absorbidos y entrar al torrente sanguíneo (A. Singh et al., 2022). Por lo tanto, inhibir estas enzimas dificultaría la absorción de almidón, expandiría el tiempo de retención de azúcar intestinal y retrasaría la tasa de absorción de glucosa y, en consecuencia, disminuiría el nivel de azúcar en sangre.

La acarbosa, la voglibosa y el migiltol son fármacos utilizados para inhibir las actividades de estas enzimas en la práctica. Sin embargo, causan efectos secundarios no deseados como daño gastrointestinal, renal y hepático, lo que dificulta su uso en el tratamiento de la diabetes y sus complicaciones (Alqahtani et al., 2020). Por lo tanto, esto ha llevado a la necesidad urgente de sustitutos efectivos que reduzcan las complicaciones de la diabetes con menos efectos secundarios.

En este contexto, los polifenoles, compuestos naturales presentes en alimentos hongos comestibles, han emergido como una opción prometedora en el manejo de la diabetes tipo 2 (Yu et al., 2025). Estos compuestos no solo inhiben de manera natural la actividad de las enzimas α-amilasa y α-glucosidasa, retrasando la digestión y absorción de carbohidratos, sino que también actúan como antioxidantes, protegiendo a las células del estrés oxidativo, un factor clave en la progresión de las complicaciones diabéticas (Zhang et al., 2016). Por lo tanto, los polifenoles presentes en *Pleurotus ostreatus* podrían ofrecer un enfoque terapéutico más seguro y accesible para el manejo de la diabetes tipo 2, con menos efectos secundarios en comparación con los medicamentos sintéticos utilizados actualmente.

3.5. Definición de términos

Polifenoles: Son un grupo de sustancias químicas encontradas de manera natural en las plantas, se caracterizan por la presencia de más de un grupo fenol por molécula (Quiñones et al., 2012).

Compuesto bioactivo: Sustancias presentes en distintas matrices vegetales, presentan, que presentan efectos biológicos específicos en el cuerpo humano, las cuales son beneficiosas para la salud (Teodoro, 2019)

Extracción asistida por ultrasonido (EAU): Es una tecnología alternativa que su principio radica en la cavitación (Chemat et al., 2017).

Cavitación: Es la formación crecimiento y colapso de las burbujas de vapor de solvente. La propagación de ondas ultrasónicas provoca la producción de burbujas de cavitación que crean una fuerza de corte, que se utiliza principalmente en la extracción asistida por ultrasonido. Las burbujas rompen la pared celular de la planta, provocando un aumento en la liberación de compuestos extraíbles (Wen et al., 2018).

Capacidad antioxidante: Se define como el potencial de una sustancia o compuesto para inhibir o dificultar la oxidación de un sustrato (Ferreira et al., 2009).

Antihiperglucémico: Sustancia que permite la reducción y control de los niveles elevados de glucosa en la sangre, comúnmente utilizados en el tratamiento de diabetes mellitus (Clodi et al., 2019).

Diabetes mellitus tipo 2 (DM2): Es una enfermedad metabólica crónica caracterizada por niveles elevados de glucosa en la sangre debido a una resistencia a la insulina y/o una disminución en la secreción de insulina por el páncreas (Association American Diabetes, 2007).

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo y nivel de investigación

El trabajo de investigación es de tipo experimental, cuantitativa y el nivel de investigación explicativo.

4.2. Ámbito temporal y espacial

El presente proyecto de investigación de desarrolló entre mayo y setiembre del 2024. El acondicionamiento de muestra, el proceso de extracción asistida por ultrasonido (EAU), los análisis de determinación de contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante: DPPH y ORAC, así como los métodos de inhibición enzimática (α- amilasa y α glucosidasa) a partir de *Pleurotus ostreatus* se desarrollaron en el Laboratorio de Tecnologías Sustentables para la Extracción de Compuestos de Alto Valor (TESECAV) de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Moquegua. El análisis de determinación del perfil de polifenoles se desarrolló en el Laboratorio de Contaminantes Orgánicos y Ambiente (GICOA) de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua - filial Ilo. La determinación de contenido de metales pesados se determinó en la empresa AGQ laboratorios de la ciudad de Lima.

4.3. Población y muestra

Las muestras fueron obtenidas en la comunidad de Huayllayccorca durante el periodo del mes de enero del 2024, ubicada en el distrito de Ccorca, región Cusco. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, teniendo en cuenta que las muestras no presentaran daños físicos y fueran cosechadas en la misma temporada. Las muestras fueron recolectadas por la mañana e inmediatamente colocadas en bolsas de polipropileno, para conservar su humedad. Después, fueron almacenadas en cajas de cartón para su traslado, el cual se realizó a temperatura ambiente por 24 horas, hasta el laboratorio de TESECAV de la UNAM, Moquegua.

4.4. Instrumentos

4.4.1. Materiales

- Balón de 10 m^3 de nitrógeno
- Botellas ámbar de 250 ml
- Cartuchos SPE C18
- Embudos de filtración
- Espátulas
- Fiolas (5, 10, 250, 500 y 1000 ml)
- Filtro de jeringa 0.22 μm
- Gradilla para tubos Eppendorf de 2 mL
- Gradilla para tubos Falcon de 50 mL
- Jeringa de 5 mL
- Micropipetas (20-200 y 100-1000 μL)
- Microplacas blancas y negras de 96 pocillos
- Papel absorbente
- Papel aluminio
- Papel filtro
- Papel tisú
- Piseta (500 ml)
- Probetas de vidrio (50, 100, 250 mL)
- Tubos Eppendorf de 2 mL
- Tubos para centrífuga de 50 mL
- Vasos de precipitados de vidrio (50, 100, 250 mL)
- Viales ámbar de 1,5 mL

4.4.2. Equipos

- Balanza analítica capacidad máxima de 220 g y legibilidad de 0.1 g (Entris224-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co, KG, Goettingen, Alemania)
- Centrifuga para tubos de 50 mL, 26°C, 500 – 4000 rpm (Proanalityt.C2004, Centurion Scientific Ltd, Reino Unido)

- Congeladora -20 a 0°C, (Rh25h5613sg, Samsung, Corea del Sur)
- Deshidratador de alimentos con voltaje 220V y frecuencia 50 - 60 Hz (Safari, Fod-Dhy, Perú)
- Espectrofotómetro UV-Vis longitud de onda 190 a 1100 nm (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, EE.UU.)
- Balanza analítica capacidad máxima de 220 g y legibilidad de 0.1 g (Entris224-1S, Sartorius Lab Instruments GmbH & Co, KG, Goettingen, Alemania)
- Centrifuga para tubos de 50 mL, 26°C, 500 – 4000 rpm (Proanalityt.C2004, Centurion Scientific Ltd, Reino Unido)
- Congeladora -20 a 0°C, (Rh25h5613sg, Samsung, Corea del Sur)
- Deshidratador de alimentos con voltaje 220V y frecuencia 50 - 60 Hz (Safari, Fod-Dhy, Perú)
- Espectrofotómetro UV-Vis longitud de onda 190 a 1100 nm (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, EE.UU.)
- Homogenizador por Ultrasonido para volúmenes de 10 a 500 mL, con frecuencia 20 KHz y consumo 500 W (CY-500, Optic Ivymen Systems™, COMECTA®, España)
- Lector de microplacas con placas de 6 a 384 pocillos, longitud de onda de 200 a 999 nm (Synergy/HTX, Biotek Instruments Inc, EE.UU.)
- Licuadora industrial (Artisan, KitchenAid, EE.UU.)
- Liofilizador (Alpha 1-4 LSCbasic, Martin Christ, Alemania)
- Rotavapor (Hei-vap Ultimate control, Heidolph, Alemania)
- Selladora la Vacío (VSV-310, Ventus, China)
- Tamizador (Analysette 3 pro, Fritsch, Alemania)
- UHPLC Vanquish Flex presión máxima 1000 bar, flujo 0-8 mL/min, volumen de inyección estándar (0.01 - 25 µL) y opcional (0.01 – 100 µL), viales estándar de 12 mm de diámetro exterior (≤1,5 ml) (Vanquish Flex, Thermo Scientific, Alemania) acoplado a un espectrómetro de masas (Orbitrap,Thermo Scientific, USA)
- Vortex con velocidad de 300-3000 rpm y tiempo de 1-999 min (Eurotech, Mix-30S)

4.4.3. Insumos y reactivos

- 2,2'-Azinobis (2-amidinopropano) diclorhidrato – AAPH (>97 %)
- 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo 3 DPPH (> 90 %)
- Acarbosa (≥98,5%)
- Acetonitrilo (>99 %)
- Ácido 3,5-dinitrosalícilico - DNS
- Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico - Trolox (> 98%)
- Ácido clorhídrico (37%)
- Ácido fórmico (≥ 98 %)
- Ácido gálico (>99 %)
- Almidón (≥99)
- Carbonato de sodio (≥99,5 %)
- Cloruro de sodio (99%)
- Dimetilsulfóxido (≥99.9%)
- Etanol (99,5%)
- Fluoresceína sódica (≥ 95%)
- Fosfato dibásico de potasio (≥99%)
- Fosfato dibásico de sodio (≥99%)
- Fosfato monobásico de potasio (≥99%)
- Fosfato monobásico de sodio (≥99%)
- Hidróxido de sodio (≥98%)
- Isopropanol (≥99.5%)
- Metanol grado HPLC (≥99.9%)
- Reactivo Folin-Ciocalteu (2N)
- Tartrato de sodio y potasio (≥99%)
- α-amilasa de páncreas porcino (≥90%)
- α-glucosidasa de *Saccharomyces cerevisiae* (≥90%)

4.5. Procedimientos

La Figura 2. se muestra el proceso de extracción de polifenoles a partir del estípite de *Pleurotus ostreatus* mediante extracción asistida por ultrasonido, detallando las diferentes etapas experimentales de la investigación.

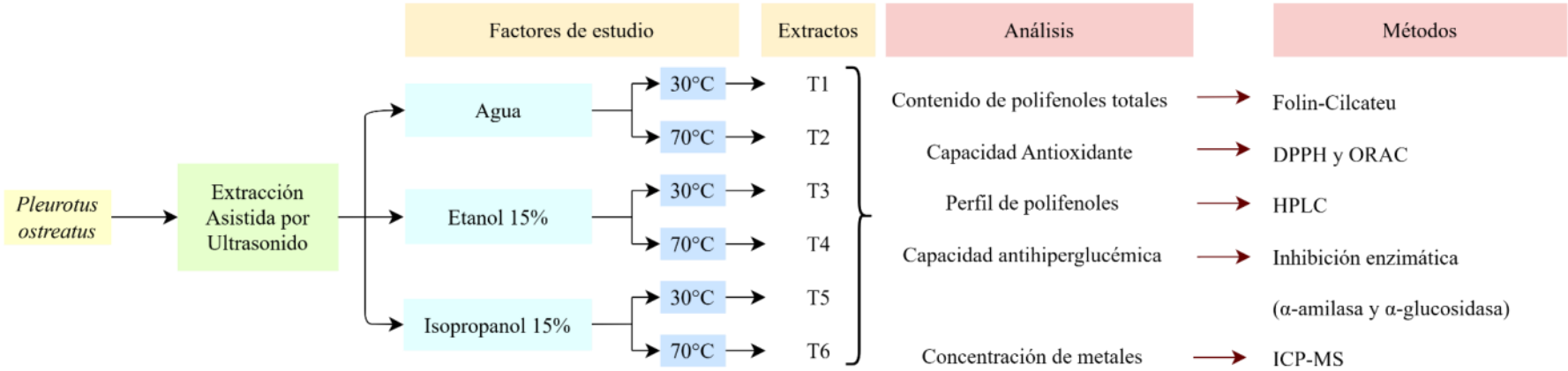


Figura 2. Esquema del proceso experimental

4.5.1. Acondicionamiento de muestra

Las muestras de *Pleurotus ostreatus* recepcionadas fueron acondicionadas con la separación del estípite y el sombrero. Posteriormente el estípite se cortó en cubos de ~ 2 cm y se sometió a un proceso de secado a 30 °C durante 10 horas en un deshidratador de alimentos (Safari, Fod-dhy-10). Después, se procesaron en una licuadora para reducir su tamaño de partícula. Luego, se utilizó un tamizador (Analysette 3 pro, Fritsch, Alemania) con malla N° 35 para obtener partículas con tamaño de ~ 0,5 mm (Putnik et al., 2017). Finalmente, las muestras se sellaron al vacío en bolsas de propileno, se protegieron de la luz y se almacenaron a -20 °C hasta su posterior análisis, por un espacio promedio de 5 días (Figura 3).



Figura 3. Acondicionamiento de muestra

Adaptado de: (Putnik et al., 2017)

4.5.2. Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)

Para la EAU, los parámetros del proceso se establecieron en base a la investigación previa reportada por Ianni et al., (2021) con algunas modificaciones. Se pesaron ~ 2 g en base seca de *Pleurotus ostreatus* y se mezclaron con el solvente correspondiente en una proporción de 1:50. Luego, el homogenizador ultrasónico (CY-500, Optic Ivymen Systems™, COMECTA®, España) operó a una frecuencia de 20 kHz y una amplitud del 65% durante 20 minutos. Se emplearon los siguientes solventes: agua pura, etanol (15%, v/v) e isopropanol (15%, v/v) a temperaturas de 30 y 70 °C. Después, los extractos obtenidos se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 minutos con una centrifuga refrigerada (Proanalityt.C2004, Centurion Scientific Ltd, Reino Unido). Luego, el sobrenadante se filtró con papel filtro estándar. Finalmente, los extractos se almacenaron en botellas ámbar a -20 °C hasta su posterior análisis (Figura 4).

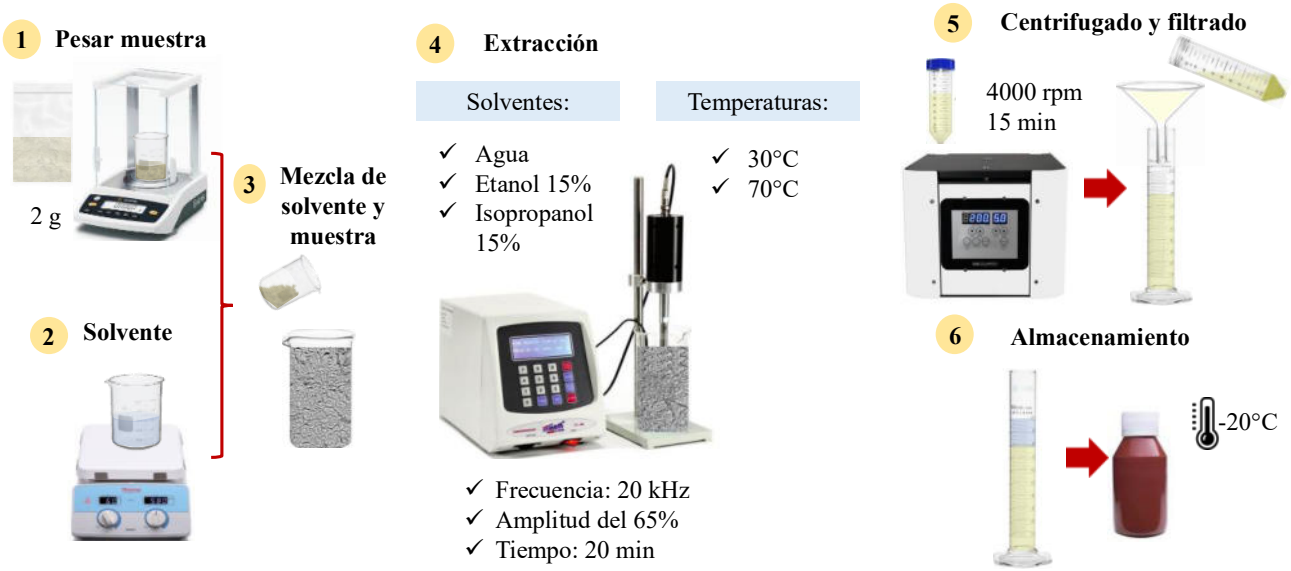


Figura 4. Proceso asistido por ultrasonido para la extracción de polifenoles a partir de *Pleurotus ostreatus*

Adaptado de: (Ianni et al., 2021)

4.5.3. Determinación de polifenoles totales

El contenido de polifenoles totales de los extractos de *Pleurotus ostreatus* se determinó mediante el ensayo de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965). Se mezclo 3,75 mL de agua destilada, 0,5 mL de extracto crudo y 0,25 mL de reactivo Folin Ciocalteu (1N) y de dejo en reposo por 3 minutos. Posteriormente, se añadió 0,5 mL de una solución de carbonato de sodio (10% p/v). La mezcla se dejó reaccionar en oscuridad y temperatura ambiente durante 1 h. La reacción se colocó en cubetas de cuarzo y la absorbancia se midió a 765 nm en un espectrofotómetro UV Vis (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, EE.UU.) (Figura 5).

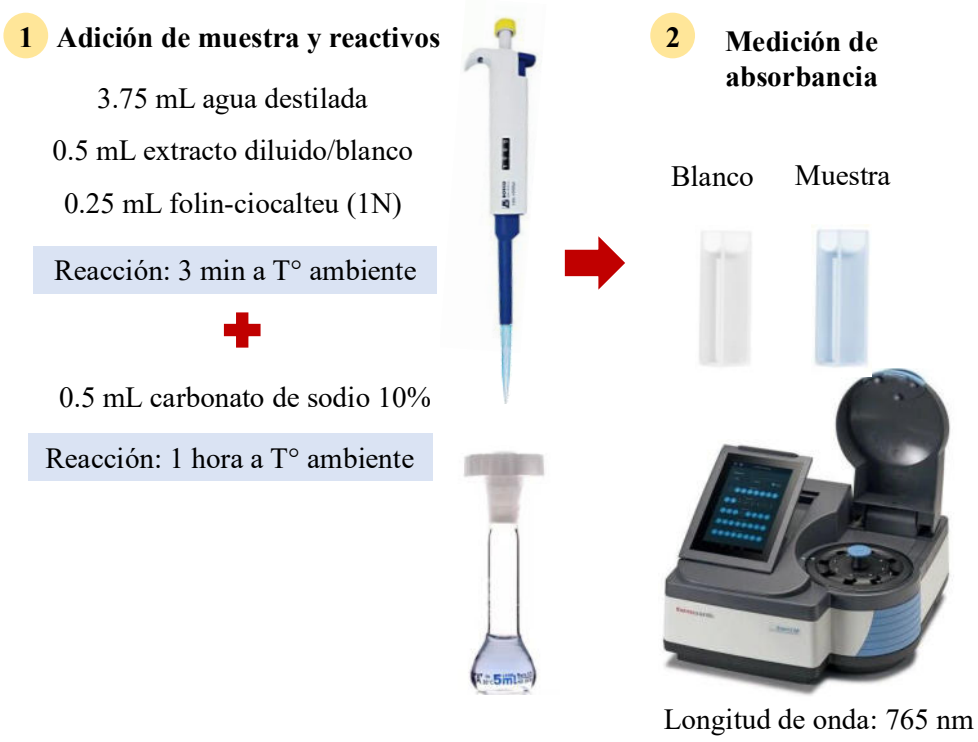


Figura 5. Cuantificación de polifenoles
Adaptado de: (Singleton & Rossi, 1965)

Se preparó una curva de calibración (r^2 = 0,9987) a partir de una solución de ácido gálico (200 mg/L). Las concentraciones utilizadas para la curva fueron: 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 mg/L. A partir de la curva de calibración, se realizaron los cálculos del contenido de polifenoles totales en los extractos, los resultados fueron expresados en mg EAG/gss (miligramos equivalentes a ácido gálico por gramo de sólido seco).

4.5.4. Determinación de capacidad antioxidante por DPPH

La capacidad antioxidante de los extractos se determinó mediante el método de inhibición del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrylhydrazyl) de acuerdo a la metodología propuesta por Brand-Williams et al., (1995), con algunas modificaciones. Los extractos fueron filtrados con discos de filtro de 0.22 µm para eliminar impurezas, después se realizó tres diluciones. En una microplaca de 96 pocillos, se mezcló 20 µL de cada dilución y 180 µL de solución DPPH (50 µM). La solución se incubó a temperatura ambiente en oscuridad durante 30 min. Posteriormente, se medió la absorbancia a 517 nm en un lector de microplacas (Genesys 150, Thermo Fisher Scientific, EE.UU.) (Figura 6). Los resultados fueron expresados como IC_{50} (mg/L), definida como la concentración de extracto de *Pleurotus ostreatus* necesario para inhibir el 50% de la actividad del radical DPPH.

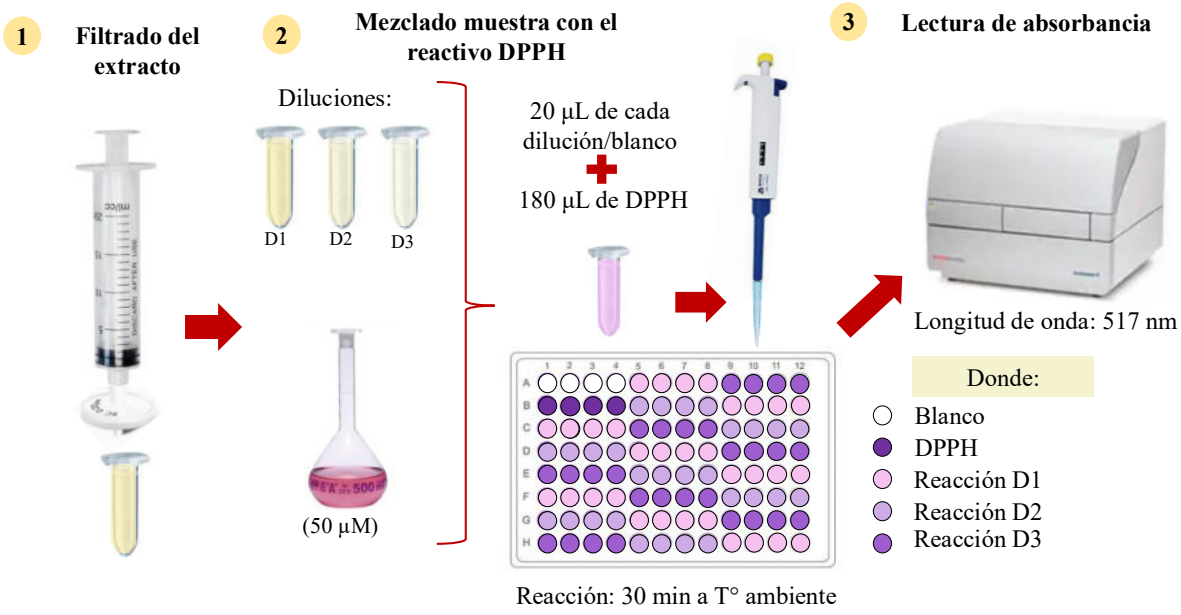


Figura 6. Análisis de capacidad antioxidante por DPPH

Adaptado de: (Brand-Williams et al., 1995)

4.5.5. Determinación de la capacidad antioxidante por ORAC

La capacidad antioxidante por ORAC (capacidad de absorción de radicales de oxígeno) se determinó mediante el método descrito por Chirinos et al., (2008). Se preparó una solución buffer fosfato (PBS) a 75 mM y pH de 7,4. A partir de buffer, se preparó diclorhidrato de 2,2'-azobis(2-amidinopropano) (AAPH) a 153 mM, Trolox como estándar (8, 16, 24, 32 y 40 µM), fluoresceína a 55 nM y se diluyo los extractos. En una microplaca negra de 96 pocillos, se añadió 25 µL de muestra diluida, Trolox (16, 24, 32 y 40 µM) y el blanco (buffer PBS) y fue llevado al lector de microplacas. El equipo inyectó 250 µL de fluoresceína a cada pocillo, la mezcla fue incubada a 37°C durante 10 minutos. Seguidamente inyectó 25 µL de AAPH a cada pocillo. La fluorescencia se midió a una longitud de onda de excitación y emisión de 485 nm y 520 nm, respectivamente, cada minuto durante 50 minutos (Figura 7). Los valores ORAC finales se calcularon utilizando el área bajo la curva y fueron expresados como µmol ET/gss (micro mol equivalente a Trolox por gramo de sólido seco).

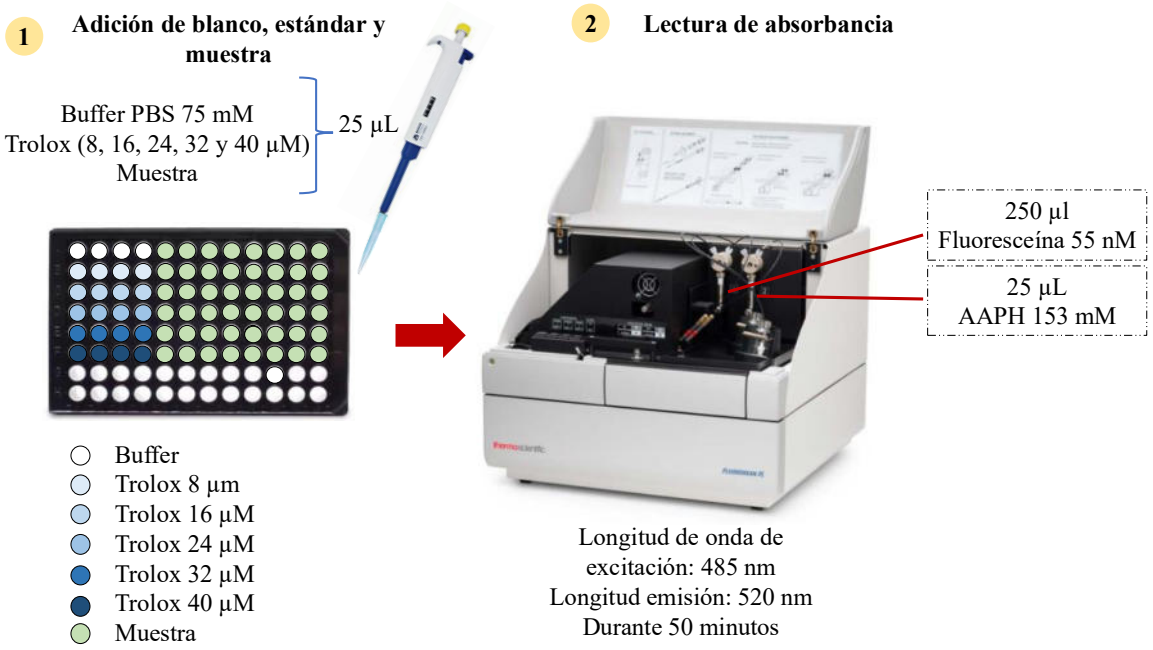


Figura 7. Análisis de capacidad antioxidante por ORAC

Adaptado de: (Chirinos et al., 2008)

4.5.6. Determinación del perfil de polifenoles específicos

La cuantificación de polifenoles específicos se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Maldonado et al. (2022), con algunas modificaciones. Inicialmente, se prepararon las muestras mediante una extracción en fase sólida (SPE) antes del análisis cromatográfico. Para ello, se utilizaron cartuchos SPE SiliaPrep C18 de 6 mL y 500 mg (Silicycle, Québec, Canadá), que fueron activados con 10 mL de metanol grado HPLC, seguidos de 10 mL de agua tipo I. A continuación, se cargaron 25 mL del extracto crudo en los cartuchos, y los analitos retenidos se eluyeron con 5 mL de metanol grado HPLC.

Posteriormente, se tomaron 100 µL de la muestra preparada y se mezclaron con 900 µL de metanol grado HPLC. La mezcla fue filtrada a través de un filtro de jeringa de 0,22 µm y almacenada en viales ámbar de 1,5 mL. De cada muestra, se inyectaron 2 µL en un cromatógrafo líquido de ultra alta resolución (UHPLC) Agilent 1290 Infinity II (USA) acoplado a un detector de arreglo de diodos (DAD). La separación cromatográfica se realizó utilizando una columna de fase reversa InfinityLab Poroshell EC-C18 (2,1 mm × 150 mm × 1,9 µm, Agilent, USA), mantenida a 30 °C.

La fase móvil consistió en agua tipo I con 0,1% de ácido fórmico (A) y acetonitrilo con 0,1% de ácido fórmico (B), empleando una elución en gradiente con los siguientes parámetros: 0 minutos 95% A y 5% B, 15 minutos 60% y 40% B, 18 minutos 95% A y 5% B. El flujo se estableció en 0,3 mL/min.

Se prepararon estándares de polifenoles a concentraciones de 0,3, 1, 3, 6, 10 y 20 µg/mL para construir las curvas de calibración. Los polifenoles específicos fueron identificados y cuantificados mediante la comparación del tiempo de retención y el área bajo la curva (AUC) de los estándares, utilizando las siguientes longitudes de onda: 270 nm para rutina y quercitrina, 280 nm para ácido vanílico, catequina, epicatequina, hidroxitirosol, procianidina A2, procianidina B2 y oleuropeína, 324 nm para resveratrol y apigenina, y 373 nm para kaempferol. Los análisis se realizaron por triplicado y los resultados fueron expresados en µg/gss (microgramo de polifenol específico por gramo de muestra en base seca).

4.1.1. Capacidad antihiperglucémico

4.1.1. Inhibición de la enzima α-amilasa

La capacidad de los extractos para inhibir la enzima α-amilasa se determinó mediante el método descrito por Apostolidis et al., (2007), con algunas modificaciones. Se evaporó el solvente más volátil de 10 mL de cada extracto utilizando un rotavapor (Hei-vap Ultimate Control, Heidolph, Alemania) y los extractos fueron liofilizados (Alpha 1-4 LSCbasic, Martin Christ, Alemania). Los extractos liofilizados se reconstituyeron en dimetilsulfóxido al 10% (v/v) para obtener una solución madre de 10 mg de *Pleurotus ostreatus*/mL, luego, se realizaron diluciones en tampón fosfato de sodio (20 mM, pH 6,9 con 6 mM de cloruro de sodio) a concentraciones de 0,1, 1, 5, 10 y 20 mg/mL. Para el ensayo enzimático, se mezclaron 100 µL de cada dilución con 100 µL de solución de almidón al 1% (p/v) preparada en tampón fosfato de sodio y la mezcla se incubó a 25°C durante 10 minutos. Posteriormente, se añadieron 100 µL de α-amilasa de páncreas porcino (0,5 mg/mL) y se incubó nuevamente a 25°C durante 10 minutos. Después, se agregaron 200 µL de ácido dinitrosalicílico (DNS) y la mezcla se calentó a 96°C durante 5 minutos en un baño termostático (LWB-122D, ISOLAB), seguido de un enfriamiento en baño frío por 5 minutos. Finalmente, se transfirió 50 µL de la reacción a una microplaca blanca de 96 pocillos, se añadió 200 µL de agua tipo I y la absorbancia se midió a 540 nm en un lector de microplacas (Synergy/HTX, Biotek Instruments Inc., USA) (Figura 8). La actividad enzimática se calculó utilizando la ecuación correspondiente, evaluando la capacidad inhibitoria de los extractos:

$$\%\ \text{Inhibición} = \frac{A_{540}\text{Muestra} - A_{540}\text{Blanco Muestra}}{A_{540}\text{Control} - A_{540}\text{Blanco control}} \times 100$$

Donde:

A_{540}Muestra: es la absorbancia medida a 540 nm de la muestra con extracto.

A_{540}Control: es la absorbancia medida a 540 nm del control (sin extracto).

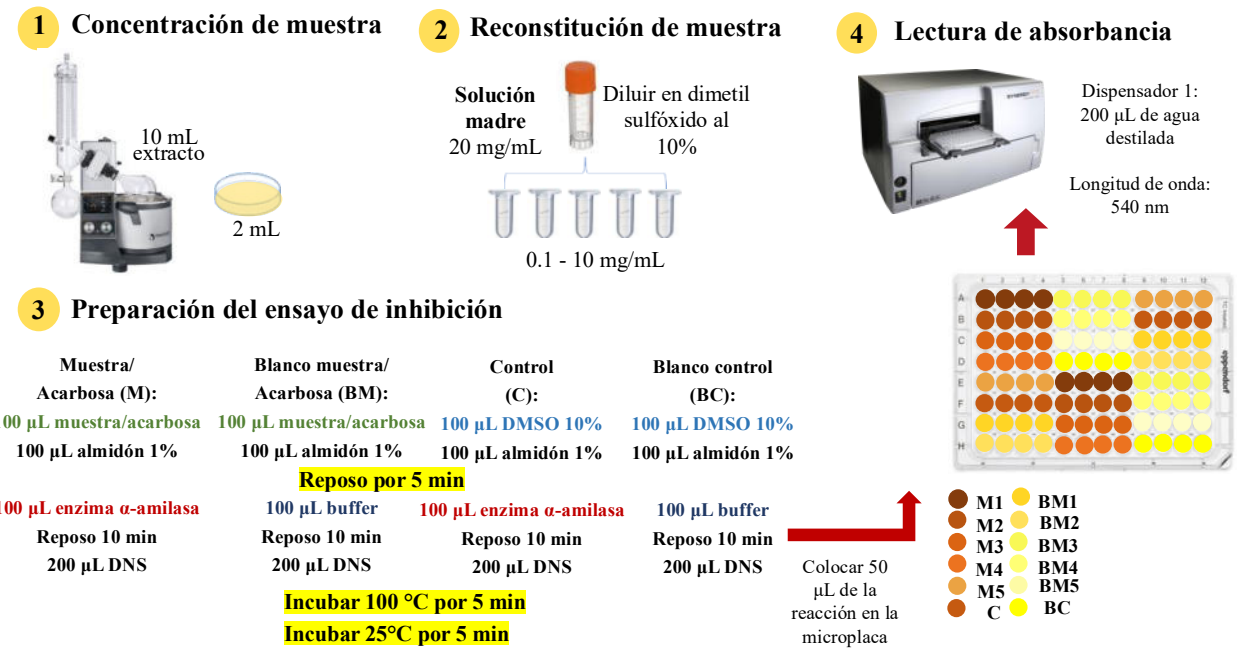


Figura 8. Procedimiento de medición de inhibición de la enzima α-amilasa

Adaptado de: (Apostolidis et al., 2007)

4.1.1.1. Inhibición de la enzima α-glucosidasa

La capacidad de los extractos para inhibir la actividad de la α-glucosidasa se evaluó siguiendo el método descrito por Pacheco et al. (2020), con modificaciones. Las muestras se prepararon de manera similar al ensayo de actividad de α-amilasa, y el efecto inhibidor se evaluó a concentraciones: 0,1, 1, 5, 10 y 20 mg/mL. en solución tampón de fosfato de sodio (100 mM, pH 6,9). En una microplaca blanca de 96 pocillos, se mezclaron 50 µL de solución de extracto con 50 µL de solución de p-nitrofenil-α-D-glucopiranósido (p-NPG) a 5 mM preparada en tampón fosfato de sodio, y la mezcla se incubó a 37 °C durante 5 minutos. Posteriormente, se añadió 100 µL de tampón fosfato que contenía 0,1 U/mL de α-glucosidasa de *Saccharomyces cerevisiae* y la reacción se incubó nuevamente a 37 °C. Finalmente, la absorbancia a 405 nm se registró durante 15 minutos en un lector de microplacas (Synergy/HTX, Biotek Instruments, Inc., USA) (Figura 9).

La actividad enzimática se calculó utilizando la ecuación correspondiente, evaluando la capacidad inhibitoria de los extractos:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{A_{405}\text{Muestra} - A_{405}\text{Blanco Muestra}}{A_{405}\text{Control} - A_{405}\text{Blanco control}} \times 100$$

Donde:

A_{405}Muestra: es la absorbancia medida a 405 nm de la muestra con extracto.

A_{405}Control: es la absorbancia medida a 405 nm del control (sin extracto).

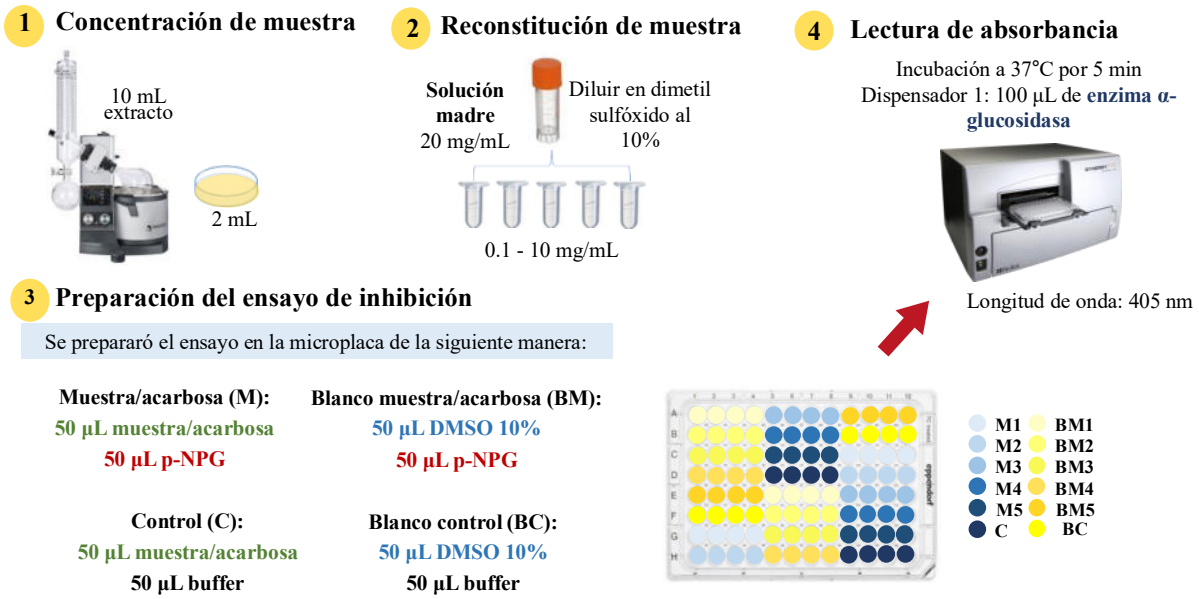


Figura 9. Procedimiento de medición de inhibición de la enzima α-glucosidasa

Adaptado de: (Pacheco et al. 2020)

4.1.2. Análisis de metales pesados

El contenido de metales pesados se realizó siguiendo la metodología planteada por Çayan et al. (2014). En resumen, los extractos de estípite de *Pleurotus Ostreatus* se secaron a 105 °C durante 24 h. Luego, se homogenizaron y se tamizaron para alcanzar una partícula de ~ 1600 µm, posteriormente se almacenaron hasta su posterior análisis. Para todas las soluciones acuosas se utilizó agua tipo 1. Para la digestión, se añadió ácido nítrico al 65% (9 mL) y ácido sulfúrico al 30% (1 mL) a los extractos secos de *Pleurotus Ostreatus* de 250 mg utilizando un sistema cerrado de microondas durante 30 min y luego se diluyo a 25 mL con agua tipo 1. Se realizó una digestión en blanco de la misma manera. Las condiciones de digestión fueron: 180 °C por 5 minutos y se mantuvo constante durante 2 minutos. El contenido de metales se determinó en base a peso seco, expresándose en miligramos por kilogramos.

4.1. Análisis de datos

Mediante un arreglo factorial completo de 3x2 con 2 repeticiones, se evaluó el efecto de los factores de estudio, tales como solvente (agua pura, etanol 15% e isopropanol 15%) y temperaturas (30 y 70°C) sobre las variables de respuesta (polifenoles totales, capacidad antioxidante por DPPH y ORAC, perfil de polifenoles) (Tabla 6). Los datos fueron analizados mediante el software estadístico Statgraphics Plus para Windows 4.4. (Statpoint Techonologies, Warrenton, VA, USA). Se evaluó la normalidad de los residuos y la homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilk (p-valor > 0,05) y Leneve (p-valor > 0,05) respectivamente. Luego, se realizó el análisis de varianza para determinar la influencia de los factores de estudio considerando un p-valor < 0,05, con una posterior comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Modelo factorial para la extracción asistida por ultrasonido:

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

$\boldsymbol{y_{ij}}$:es el valor observado en el i-ésimo tipo de solvente y, j-ésima temperatura

μ: es el efecto de la media general de los tratamientos

$\boldsymbol{\alpha_i}$: es el efecto del i-ésimo solvente

$\boldsymbol{\beta_j}$: es el efecto del j-ésima temperatura

$(\boldsymbol{\alpha\beta})_{ij}$: representa la interacción de los niveles *ij* de los factores

ε_{ijk}: es el efecto del error experimental en el i-ésimo tipo de solvente, j-ésima temperatura.

Tabla 6. Arreglo factorial 3x2 para la obtención de extractos mediante extracción asistida por ultrasonido

Solvente	Temperatura (°C)	Tratamiento	Variables Respuesta	Unidades
Agua pura	30 °C	T1	Polifenoles Totales Capacidad Antioxidante DPPH Capacidad Antioxidante ORAC Perfil de polifenoles	mg EAG/gss mg/mL µmol ET/gss µg PE/gss
	70 °C	T2		
Etanol 15%	30 °C	T3		
	70 °C	T4		
Isopropanol 15%	30 °C	T5		
	70 °C	T6		

Por otro lado, la inhibición de la actividad enzimática de α-amilasa y α glucosidasa de los extractos fue comparado con un control positivo (acarbosa). Para tal fin, se evaluó de manera independiente seis extractos y un control a cinco concentraciones diferentes (0,1; 1; 5; 10 y 20 µg/mL), los cuales se agruparon como tratamientos (Tabla 7). Los datos fueron analizados el software estadístico Statgraphics Plus para Windows 4.4. (Statpoint Techonologies, Warrenton, VA, USA). Luego se realizó el análisis de varianza con la prueba de comparación de medias por Dunnett ($p< 0,05$) con la finalidad de identificar si algún tratamiento presentó un comportamiento similar que el control.

Análisis de datos para la inhibición de la actividad enzimática:

$$\boldsymbol{y_{ij}} = \mu + \boldsymbol{\alpha_{ij}} + \varepsilon_{ij}$$

$\boldsymbol{y_{ij}}$:es el valor observado en el i-ésimo tipo de solvente y, j-ésima temperatura

µ: es el efecto de la media general de los tratamientos

$\boldsymbol{\alpha_{ij}}$: es el efecto del i-ésimo solvente y j-ésima temperatura

ε_{ijk}: es el efecto del error experimental en el i-ésimo tipo de solvente y j-ésima temperatura.

Tabla 7. Análisis de datos para la determinación de la inhibición enzimática de α-amilasa y α-glucosidasa

Solvente – Temperatura	Concentración	Tratamiento	Variable respuesta Inhibición Enzimática
Agua pura - 30°C	0.1	A	% inhibición α- amilasa % inhibición α-glucosidasa
Agua pura - 70°C	0.1	B	
Etanol 15% - 30°C	0.1	C	
Etanol 15% - 70°C	0.1	D	
Isopropanol 15% - 30°C	0.1	E	
Isopropanol 15% - 70°C	0.1	F	
Acarbosa	0.1	G	
Agua pura - 30°C	1	A1	
Agua pura - 70°C	1	B1	
Etanol 15% - 30°C	1	C1	
Etanol 15% - 70°C	1	D1	
Isopropanol 15% - 30°C	1	E1	
Isopropanol 15% - 70°C	1	F1	
Acarbosa	1	G1	
Agua pura - 30°C	5	A2	
Agua pura - 70°C	5	B2	
Etanol 15% - 30°C	5	C2	
Etanol 15% - 70°C	5	D2	
Isopropanol 15% - 30°C	5	E2	
Isopropanol 15% - 70°C	5	F2	
Acarbosa	5	G2	
Agua pura - 30°C	10	A3	
Agua pura - 70°C	10	B3	
Etanol 15% - 30°C	10	C3	
Etanol 15% - 70°C	10	D3	
Isopropanol 15% - 30°C	10	E3	
Isopropanol 15% - 70°C	10	F3	
Acarbosa	10	G3	
Agua pura - 30°C	20	A4	
Agua pura - 70°C	20	B4	
Etanol 15% - 30°C	20	C4	
Etanol 15% - 70°C	20	D4	
Isopropanol 15% - 30°C	20	E4	
Isopropanol 15% - 70°C	20	F4	
Acarbosa	20	G4	

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Contenido de polifenoles totales

El uso de la extracción asistida por ultrasonido (EAU), combinada con solventes (agua pura, etanol al 15% e isopropanol al 15%) a temperaturas de 30 a 70°C, permitió la recuperación de un contenido de polifenoles totales entre 3.69 a 7.57 mg EAG/gss (Figura 10). De acuerdo con los resultados, el uso de agua pura, etanol (15%) e isopropanol (15%) a 30°C recupero 20%, 22% y 32% en comparación con la el uso de 70°C bajo las mismas condiciones, respectivamente (Figura 10).

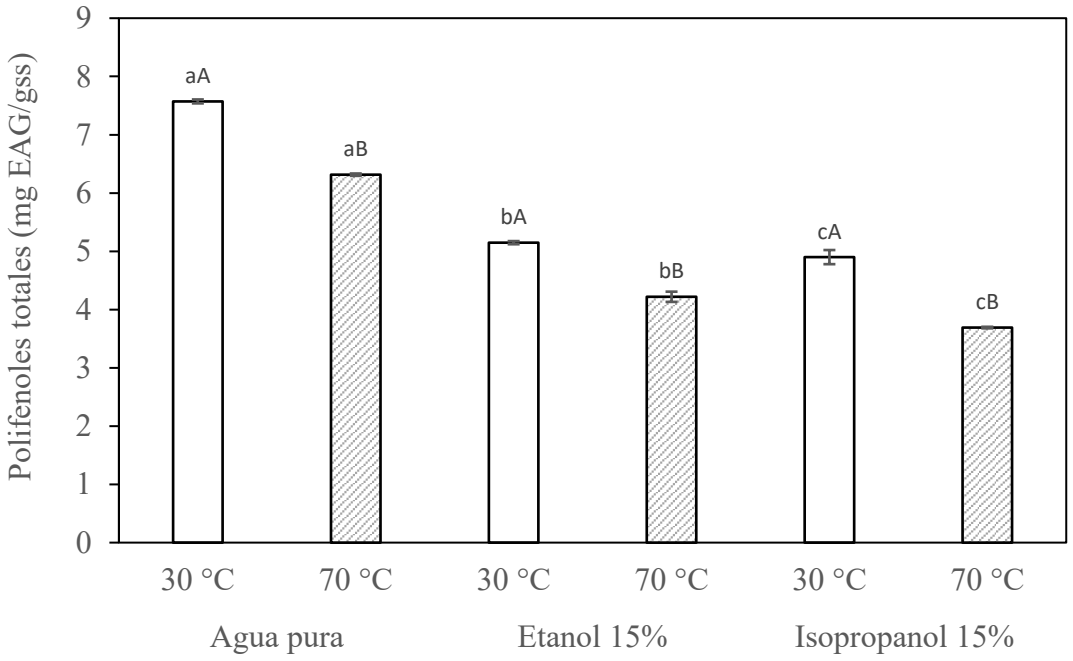


Figura 10. Contenido de polifenoles en extractos de *Pleurotus ostreatus* obtenido por EAU. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre solventes y las letras mayúsculas indican diferencias entre la variación de temperaturas.

Al respecto, Ianni et al. (2021) reportaron que la extracción asistida por ultrasonido a 30°C permitió 2.25 y 1.11 veces mayor recuperación de polifenoles totales en *Pleurotus ostreatus,* cuando se utilizó etanol puro y etanol al 50%, respectivamente, en comparación con la extracción a 70°C bajo las mismas condiciones. Similarmente, Gogoi et al., (2019) estudiaron la extracción asistida por ultrasonido de polifenoles a partir de *Pleurotus citrinopileatus* y reportaron que la extracción con agua pura a 30°C fue 100% más eficaz que la extracción con agua

pura a 50°C. Estos estudios sugieren que el incremento de temperatura tiene un efecto negativo en la recuperación de polifenoles, este comportamiento podría deberse a la degradación de polifenoles termosensibles (ácidos fenólicos y flavonoides) que son inestables a temperaturas altas (de Araújo et al., 2021; Dzah et al., 2020). Además, las temperaturas elevadas afectan negativamente la cavitación durante la extracción asistida por ultrasonido (EAU), al alterar el comportamiento de las burbujas generadas por las ondas ultrasónicas. A medida que la temperatura aumenta, las burbujas de cavitación se vuelven menos estables, lo que provoca un colapso más rápido y menos intenso, reduciendo la eficacia en la ruptura de la pared celular de la matriz vegetal, en consecuencia, la liberación de polifenoles (Eltamany et al., 2023).

Respecto al solvente de extracción, el uso de agua pura a 30°C, permitió 48% y 58% mayor recuperación de polifenoles en comparación con el uso de etanol al 15% e isopropanol al 15%, respectivamente, bajo las mismas condiciones (Figura 10). Un comportamiento similar fue reportado por Villalobos-Pezos et al., (2024) quienes indicaron que la extracción asistida por ultrasonido de *Pleurotus ostreatus* con agua pura a 50°C, recuperaron 1.4 y 2 veces más contenido de polifenoles en comparación con etanol 50% y etanol puro, respectivamente, bajo las mismas condiciones. Por otro lado, Brazkova et al., (2022) estudiaron la recuperación de polifenoles de *P. ostreatus* bajo condiciones atmosféricas y reportaron que la extracción con agua pura a 25°C recuperó 2.8 y 3.1 veces más polifenoles totales con etanol y metanol puro, respectivamente, bajo las mismas condiciones. Estos resultados evidencian que el uso agua pura a temperaturas moderadas en la extracción asistida por ultrasonido es eficiente para la preservación y recuperación de polifenoles en *Pleurotus ostreatus*. Probablemente, la mayoría de polifenoles presentes en este tipo de matriz son compuestos polares debido a sus grupos hidroxilo (Alonso-Riaño et al., 2020). En cambio, los solventes orgánicos diluidos, como etanol e isopropanol en concentraciones al 15%, presentan una menor polaridad, lo que disminuye la recuperación de polifenoles más hidrofílicos (Ianni et al., 2021; Zhang et al., 2016). De esta manera, la mejor condición para la recuperación de polifenoles a partir del residuo de *Pleurotus ostreatus* fue establecida con agua pura a 30°C, con una concentración de polifenoles totales de 7.57 mg EAG/gss (Figura 10).

5.2. Capacidad antioxidante por DPPH

Los extractos de *Pleurotus ostreatus* presentaron una capacidad antioxidante expresado en factor IC_{50} (concentración necesaria para inhibir el 50% del radical DPPH), que varía entre 13.05 a 7.97 mg/mL (Figura11). Un menor valor de IC_{50} indica una mayor capacidad antioxidante, debido a que menor será la cantidad de extracto necesaria para inhibir el radical DPPH (Pyrzynska & Pękal, 2013). Al comparar las condiciones de extracción, se obtuvo un comportamiento similar al contenido de polifenoles totales. Los extractos obtenidos a 30°C mostraron una reducción significativa del valor IC_{50} en 22%, 23% y 8% con agua pura, etanol al 15% e isopropanol al 15%, en comparación con los extractos obtenidos a 70°C, respectivamente (Figura 11).

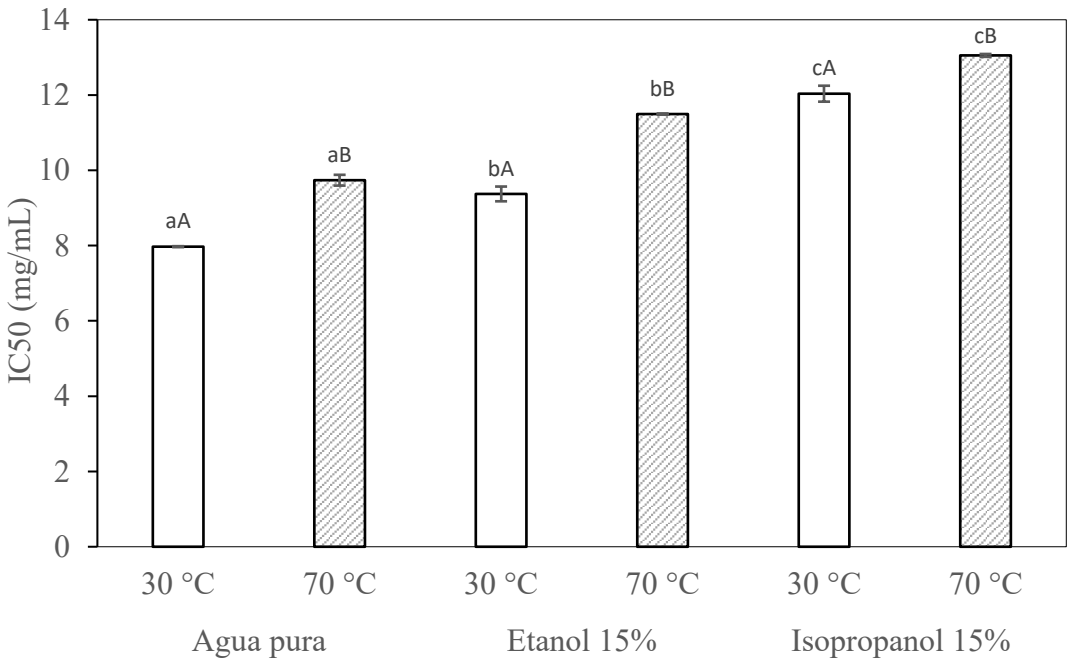


Figura 11. Capacidad antioxidante por DPPH expresado como factor IC50 en miligramos por mililitro (mg/mL) de los extractos de *Pleurotus ostreatus*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre solventes mientras que las letras mayúsculas indican diferencias entre la variación de temperaturas de extracción.

Un estudio realizado por Gogoi et al., (2019) reportaron que la extracción asistida por ultrasonido a partir de *Pleurotus citrinopileatus* realizada a 30°C, tuvo mayor capacidad de inhibición de DPPH en 4% y 28% con agua pura y etanol puro, respectivamente, comparado con la extracción a 55°C. Similarmente, Ianni et al., (2021) reportaron que la EAU a partir de *Pleurotus ostreatus* a 30°C tuvo 2.1 y 1.9 veces mayor capacidad para inhibir el radical DPPH, con etanol puro y etanol al 50%, respectivamente, comparado con la extracción a 70°C. Ambos estudios sugieren que la extracción a 30°C es más efectiva, porque evita la descomposición térmica de los polifenoles y además permite su preservación, mostrando una mayor capacidad para inhibir el radical DPPH. Por ello, la mejor condición para inhibir el 50% del radical DPPH fue determinada a 30°C con agua pura, al igual que en la recuperación de polifenoles totales.

5.1. Capacidad antioxidante por ORAC

Los valores de capacidad antioxidante medidos mediante ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno) para los extractos obtenidos con agua pura, etanol al 15 % e isopropanol al 15 % combinadas con temperaturas de 30°C y 70°C, varían entre 40.38 y 91.80 µM ET/gss (Figura 12). Los extractos obtenidos a 30°, mostraron 14%, 36% y 48% mayor capacidad antioxidante con agua pura, etanol 15% e isopropanol al 15%, en comparación con los extractos obtenidos a 70°C, respectivamente (Figura 12).

No se han realizado estudios que determinen la capacidad antioxidante mediante ORAC en extractos obtenidos a partir de *Pleurotus ostreatus*. No obstante, Parí et al. (2024) reportaron que la extracción asistida por ultrasonido (EAU) a 30°C incrementó en 83%, 75% y 79% la capacidad antioxidante medida por ORAC en la cáscara de tuna roja, utilizando agua pura, etanol al 30% y etanol al 60%, respectivamente, en comparación con la extracción realizada a 70°C.

La capacidad antioxidante no solo depende de los compuestos antioxidantes extraídos, sino también de su eficacia. Estudios han resaltado que las condiciones de extracción como el solvente y temperatura deben ser cuidadosamente ajustados para maximizar la extracción de polifenoles y la calidad de los compuestos antioxidantes recuperados (Dzah et al., 2020; Effiong, Umeokwochi, et al., 2024; Radzki et al., 2016).

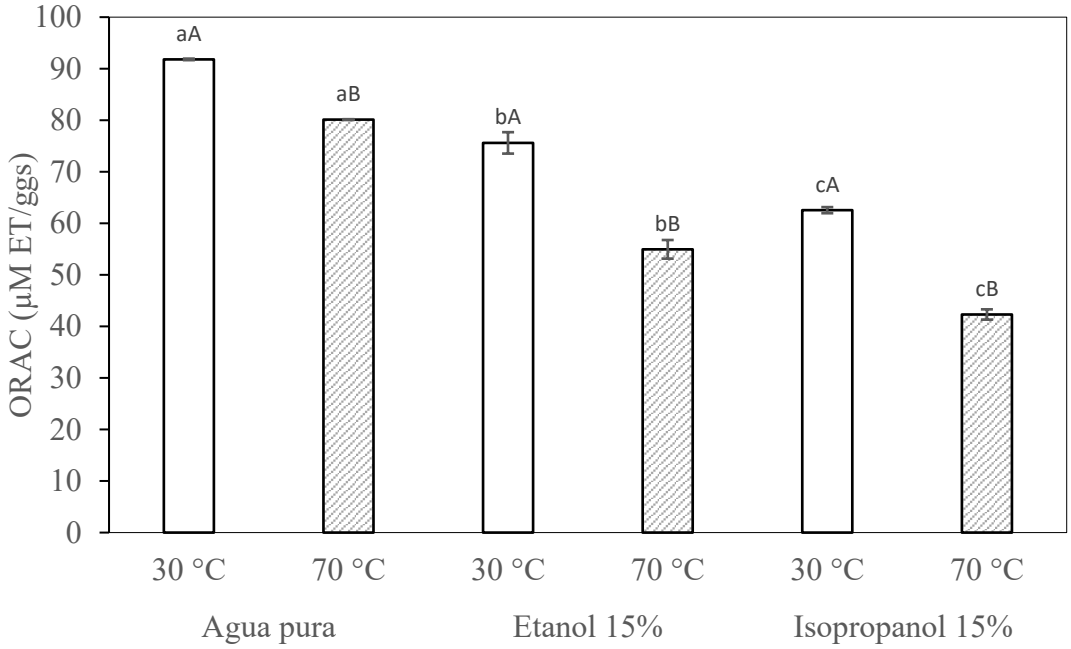


Figura 12. Capacidad antioxidante por ORAC en extractos de *Pleurotus ostreatus* obtenidos por EAU. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre solventes mientras que las letras mayúsculas indican diferencias entre la variación de temperaturas de extracción.

5.1. Perfil de polifenoles específicos

5.1.1. Ácidos fenólicos

El contenido de ácido vanílico en los extractos de *Pleurotus ostreatus* varía entre 0.58 y 1.54 µg/gss (Tabla 8). La extracción asistida por ultrasonido, realizada con cambios de 30°C a 70°C, mostró una disminución del 41% en el contenido de ácido vanílico cuando se utilizó agua como solvente. No obstante, el uso de etanol al 15% e isopropanol al 15%, permitió un incremento en el contenido de ácido vanílico del 9% y 12%, respectivamente, destacando la influencia del solvente y la temperatura en la eficiencia de extracción (Tabla 8).

La disminución del contenido de ácido vanílico al utilizar agua como solvente en la extracción asistida por ultrasonido podría deberse a que, en presencia de agua, el oxígeno disuelto puede promover reacciones oxidativas que degradan el ácido vinílico, especialmente a temperaturas más elevadas (Wang & Weller, 2006). Además, el agua, siendo un solvente altamente polar, podría no ser ideal para extraer ciertos compuestos fenólicos, ya que su afinidad con la matriz del hongo puede limitar la liberación de estos compuestos (Alonso-Riaño et al., 2020). En contraste, el uso de etanol al 15% o isopropanol al 15% como solventes mejora la extracción del ácido vanílico debido a su polaridad intermedia, lo que facilita la solubilización de compuestos fenólicos. Asimismo, los solventes orgánicos pueden interrumpir interacciones moleculares entre el ácido vanílico y otras estructuras dentro de la matriz vegetal, incrementando su disponibilidad (Effiong, Bella-Omunagbe, et al., 2024)

5.1.1. Estilbenos

Los extractos obtenidos con agua pura a 30°C recuperaron 82% más contenido de resveratrol comparado con la extracción a 70°C, sin embargo, la extracción con etanol al 15% e isopropanol al 15% no presentaron diferencias significativas bajo las mismas condiciones (Tabla 8). La influencia de la temperatura coincide con lo reportado por Accomasso et al., (2024), que reportaron que temperaturas moderadas durante la extracción permiten la preservación de estilbenos, como el resveratrol. Por ejemplo, Lin et al., (2016) estudiaron un proceso asistido por ultrasonido a partir de *Plygonum cuspidatum,* reportaron que un extracto etanolico a 30°C, mostró 71% más contenido de resveratrol, comparado con 75°C.

5.1.2. Flavanoles

El contenido de flavanoles totales presentes en los extractos obtenidos en *Pleurotus ostreatus* varió entre 1.45 y 2.54 µg/gss (Tabla 8). Sin embargo, cada flavanol presento un comportamiento particular. Por ejemplo, catequina fue cuantificada cuando se usó agua pura a 30°C y etanol al 15 % a 70°C como condiciones de extracción (Tabla 8). Este comportamiento muestra que la catequina es sensible a las condiciones de temperatura y el uso de solvente. Por otro lado, el uso de isopropanol al 15% con un cambio de temperatura de 30 °C a 70°C,

disminuyo en 6% el contenido de catequina.

El contenido de procianidina A2 varió entre 0.02 y 1.42 µg/gss, siendo favorecido por el uso de agua pura con un incremento de temperatura de 30 a 70°C, obteniendo una recuperación 84.7 veces mayor (Tabla 8). Al utilizar etanol al 15% e isopropanol al 15% a 30°C, la recuperación fue 2.5 y 2.1 veces mayor, en comparación con 70°C (Tabla 8). Por otro lado, el contenido de procianidina B2 fue de 0.95 a 1.38 µg/gss, cuyos extractos obtenidos a 30°C con agua pura, etanol al 15% e isopropanol al 15% fueron 1.5, 1.3 y 1.3 veces mayores, respectivamente, comparado con los extractos obtenidos a 70°C (Tabla 8).

La elección del solvente de extracción influye significativamente la recuperación de flavanoles. Solventes como etanol, metanol y agua se usan debido a su polaridad que tiene afinidad con la naturaleza polar de las flavanoles (Valencia-Hernandez et al., 2021). Temperaturas elevadas mejoran la solubilidad y liberación de procianidinas de las matrices vegetales. Sin embargo, el calor excesivo provoca una degradación oxidativa y cambios estructurales, que podría reducir su recuperación (Dasiman et al., 2022).

5.1.1. Flavonoles

El contenido de flavonoles totales en *Pleurotus ostreatus* varió entre 1.47 a 26.43 µg/gss (Tabla 8). Siendo el flavonol con mayor recuperación la quercetina (20.89 µg/gss) obtenido con agua pura a 30°C. Sin embargo, un incremento de temperatura a 70°C bajo las mismas condiciones resulto en una disminución del 35% (Tabla 8).

Estos hallazgos destacan la importancia de la polaridad del solvente y de mantener bajas temperaturas para preservar la estabilidad de los flavonoles durante la extracción, lo que coincide con estudios previos que señalan la vulnerabilidad de estos compuestos al calor y su afinidad por solventes polares (Zhu et al., 2014); Coppa et al., 2020).

5.1.2. Flavona

Un incremento de temperatura de 30 a 70 °C disminuye en 28 y 38% el contenido de apigenina con agua pura e isopropanol al 15%, respectivamente (Tabla 8). Matkovits et al., (2024) reportaron cantidades mínimas de apigenina en *P.*

ostreatus menores a 0.01 µg/gss, por otro lado, Effiong, Bella-Omunagbe, et al., (2024) reportaron mayor contenido de apigenina que varió entre 0.93 y 11.35 µg/gss, cuya extracción se realizó con metanol y hexano a 30°C, respectivamente. Esto sugiere que la apigenina tiene mejor solubilidad en solventes no polares, posiblemente debido a su menor cantidad de grupos polares en comparación con otros polifenoles (Obluchinskaya et al., 2023).

5.1.1. Feniletanoides

El contenido hidroxitirosol varió entre 0.59 a 1.27 µg/gss. Cuando se utilizó isoporpanol al 15% a 30°C, se logró 1.6 y 2.2 veces mayor recuperación comparado con etanol al 15% a temperaturas de 30 y 70 °C, respectivamente (Tabla 8). No hay trabajos que hayan identificado este compuesto en *P. ostreatus*. Sin embargo, Angelini et al., (2021) reportaron de 5.69 a 11.98 ug/mL de hidroxitirosol en *P. columbinus*, esto podría deberse a diferencias en la composición bioquímica entre las especies, las condiciones de cultivo o los métodos analíticos aplicados. Aunque el isopropanol y etanol son solventes polares, el solvente isopropanol tiene una polaridad, esta característica que facilita una mejor solvatación del hidroxitirosol en ciertas matrices, como los tejidos fúngicos, permitiendo la liberación de este compuesto (Papageorgiou et al., 2022).

Tabla 8. Perfil de polifenoles de los extractos de *Pleurotus ostreatus*

	Extracción asistida por ultrasonido			
Ácido fenólico (µg/gss)	Temperatura °C	Agua Pura	Etanol 15%	Isopropanol 15%
Ác. Vanílico	30	1.536 ± 0.087^{bA}	0.58 ± 0.042^{aA}	0.62 ± 0.013^{aA}
	70	1.088 ± 0.023^{bB}	0.63 ± 0.006^{aB}	0.70 ± 0.041^{aB}
Estilbeno (µg/gss)				
Resveratrol	30	2.686 ± 0.250^{bB}	1.238 ± 0.001^{aB}	1.217 ± 0.004^{aB}
	70	1.473 ± 0.065^{bA}	1.231 ± 0.008^{aA}	1.223 ± 0.002^{aA}
Flavanoles (µg/gss)				
Catequina	30	1.150 ± 0.021^{bB}	ND	0.444 ± 0.020^{aB}
	70	ND	0.891 ± 0.072^{aA}	0.418 ± 0.005^{aA}
Procianidina A2	30	0.016 ± 0.001^{bB}	0.123 ± 0.002^{aB}	0.065 ± 0.002^{aB}
	70	1.397 ± 0.052^{bA}	0.050 ± 0.003^{aA}	0.031 ± 0.002^{aA}
Procianidina B2	30	1.381 ± 0.037^{abB}	1.418 ± 0.065^{aB}	1.264 ± 0.056^{bB}
	70	0.950 ± 0.065^{abA}	1.117 ± 0.007^{aA}	1.007 ± 0.019^{bA}
Subtotal	30	2.548 ± 0.730	1.541 ± 0.786	1.773 ± 0.613
	70	2.347 ± 0.713	2.059 ± 0.562	1.456 ± 0.491
Flavonoles (µg/gss)				
Kaempferol	30	0.645 ± 0.053^{cB}	0.456 ± 0.040^{bB}	0.221 ± 0.025^{aB}
	70	0.251 ± 0.022^{cA}	0.245 ± 0.026^{bA}	ND
Quercitrina	30	20.890 ± 0.123^{cB}	0.566 ± 0.048^{bB}	4.272 ± 0.343^{bB}
	70	15.505 ± 1.159^{cA}	ND	ND
Rutina	30	4.897 ± 0.173^{cB}	4.584 ± 0.303^{Bb}	1.945 ± 0.138^{aB}
	70	2.983 ± 0.093^{cA}	1.451 ± 0.073^{bA}	1.474 ± 0.036^{aA}
Subtotal	30	26.432 ± 10.675	5.605 ± 2.352	6.437 ± 2.033
	70	18.740 ± 8.134	1.696 ± 0.777	1.474 ± 0.851
Flavona (µg/gss)				
Apigenina	30	0.169 ± 0.004^{cB}	0.018 ± 0.001^{bB}	0.071 ± 0.004^{aB}
	70	0.132 ± 0.012^{cA}	ND	0.052 ± 0.004^{aA}
Feniletanoides (µg/gss)				
Hidroxitirosol	30	ND	0.786 ± 0.051^{aB}	1.271 ± 0.031^{aB}
	70	ND	0.585 ± 0.050^{aA}	ND

El contenido de polifenoles específicos esta expresado como microgramos equivalentes del polifenol específico por gramo de sólido seco (µg PE/gss) ± la desviación estándar (n = 2). ND: No detectado. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$). Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre solventes mientras que las letras mayúsculas indican diferencias entre la variación de temperaturas de extracción.

5.2. Inhibición enzimática relacionas con la DM2

5.2.1. Inhibición de la actividad de α-amilasa

En este estudio, el extracto obtenido con agua pura a 30 °C mostró una inhibición moderada del 30% para α-amilasa a una concentración de 20 mg/mL (Figura 13), mientras que la acarbosa superó este valor, siendo aproximadamente tres veces más efectiva. Sin embargo, a 70 °C, la actividad inhibitoria de los extractos disminuyó drásticamente, lo que sugiere una posible degradación de los compuestos fenólicos responsables de esta acción. Al respecto, Nnemolisa et al., (2024) reportaron una inhibición del 4.8% de α-amilasa en extractos metanólicos obtenido a 30°C en un método convencional a partir de *P. ostreatus*, lo que indica que las condiciones de extracción, como la polaridad del solvente y la temperatura, tienen un efecto significativo en la recuperación de compuestos bioactivos responsables en la inhibición de esta enzima.

La enzima α-amilasa desempeña un papel crucial en el metabolismo de los carbohidratos, ya que cataliza la hidrólisis de enlaces alfa-1,4 en polisacáridos como el almidón, generando oligosacáridos y disacáridos que posteriormente se convierten en glucosa, elevando los niveles de azúcar en sangre. Por este motivo, su regulación es fundamental en el manejo de condiciones como la diabetes tipo 2. La acarbosa, un fármaco ampliamente utilizado, actúa como un inhibidor de α-amilasa, ralentizando este proceso y reduciendo los picos de glucosa postprandial, lo que contribuye significativamente al control de la hiperglucemia (Barrientos-Ávalos et al., 2024).

Los extractos fenólicos derivados de fuentes naturales, como *Pleurotus ostreatus*, también han mostrado capacidad para inhibir la actividad de α-amilasa. Este efecto se debe, en gran parte, a las propiedades estructurales de los polifenoles, cuyas interacciones hidrofóbicas entre los anillos aromáticos y los residuos de triptófano de la enzima son fundamentales para reducir su actividad (Venturella et al., 2021). Adicionalmente, los grupos hidroxilo (-OH) de los polifenoles forman enlaces de hidrógeno con los residuos catalíticos en el sitio activo de la α-amilasa, como Asp197, Glu233 y Asp300, bloqueando su función catalítica (Shamtsyan & Pogacnik, 2020). Estas características hacen de los extractos fenólicos una alternativa prometedora y

natural para los tratamientos actuales contra la diabetes tipo 2, con el potencial de reducir los efectos adversos asociados a los fármacos sintéticos.

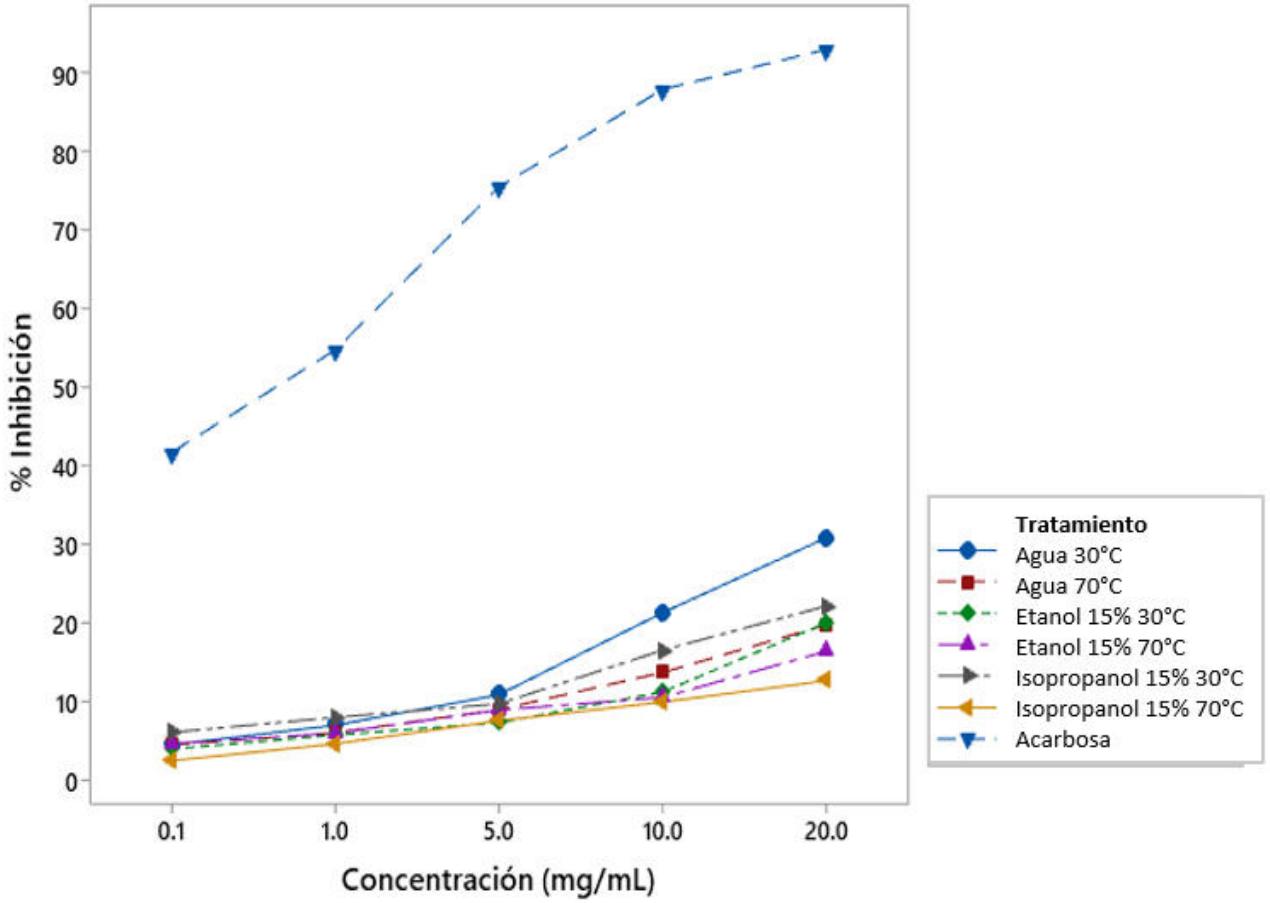


Figura 13. Inhibición enzimática de α-amilasa de *Pleurotus ostreatus*. (*) indica que no existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las condiciones del proceso.

5.2.2. Inhibición de la actividad de α-glucosilasa

Los extractos de *Pleurotus ostreatus* han demostrado su capacidad para inhibir la actividad de α-glucosidasa, evidenciando su potencial antihiperglucémico. En particular, el extracto obtenido con agua pura a 30 °C presentó una inhibición del 59% sobre esta enzima a una concentración de 20 mg/mL, un resultado similar al control acarbosa, que mostró apenas un 3% más capacidad inhibitoria a la misma concentración (Figuras 14). Nnemolisa et al., (2024) informaron que un extracto metanólico a partir de *Pleurotus ostretatus* presentó una inhibición del 33.87% a una concentración de 32 mg/mL, un valor menor al observado en este estudio, demostrando el efecto del tipo de solvente y las condiciones de extracción sobre la actividad inhibitoria.

La α-glucosidasa es una enzima intestinal clave en la digestión de carbohidratos complejos, se encarga de catalizar la hidrólisis de los enlaces α-1,4 glucosídicos presentes en polisacáridos como el almidón, liberando glucosa para su absorción en el torrente sanguíneo (Alqahtani et al., 2020). Los polifenoles inhiben la α-glucosidasa al unirse específicamente a su sitio activo mediante enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas con aminoácidos clave, lo que bloquea la capacidad catalítica de la enzima y disminuye la ruptura de carbohidratos en glucosa (Nnemolisa et al., 2024). Los polifenoles, especialmente flavonoides como quercetina, rutina y kaempferol, han sido ampliamente estudiados y demostraron inhibir la α-glucosidasa mediante interacciones específicas en su sitio activo., la presencia de estos podría haber contribuido individualmente o en su conjunto respecto al potencial antidiabético (Dehghan et al., 2016).

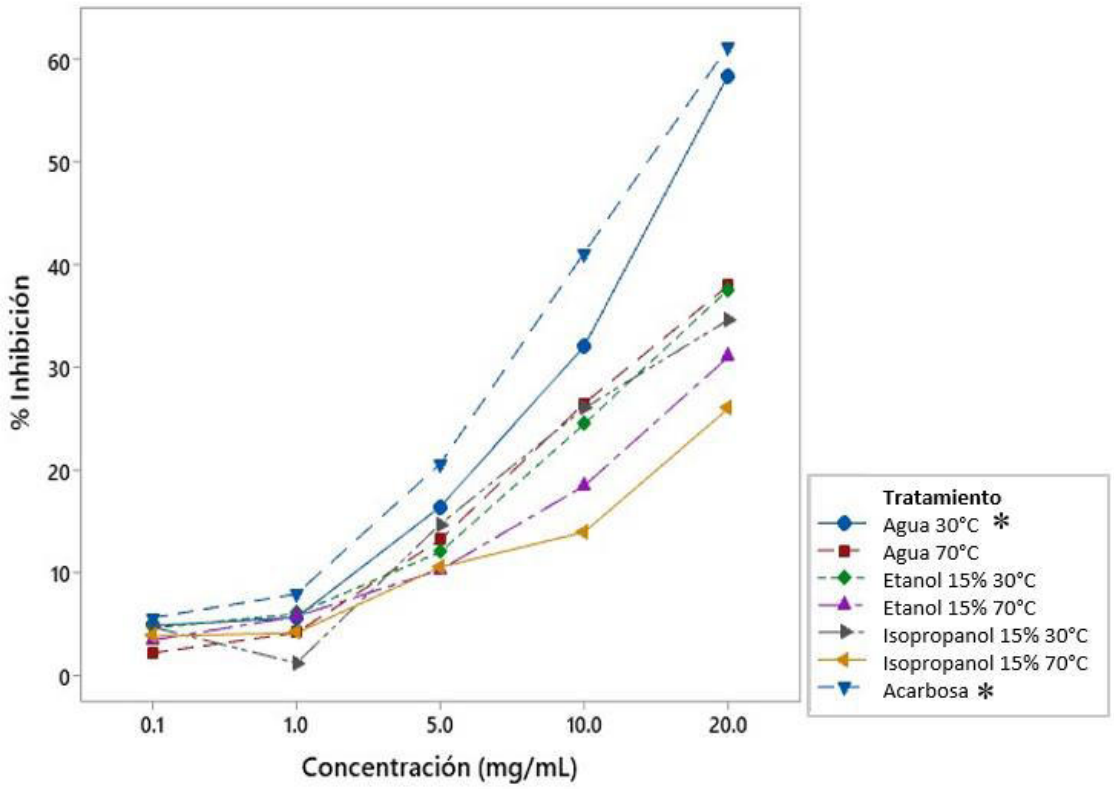


Figura 14. Inhibición enzimática de α-glucosidasa de *Pleurotus ostreatus.* (*) indica que no existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las condiciones del proceso.

5.1. Metales totales en *Pleurotus ostreatus*

Los resultados muestran que la concentración de metales potencialmente tóxicos, como el arsénico, cadmio, estaño, mercurio, y plomo, está por debajo del límite máximo permisibles según la (Unión Europea, 2023), tanto en el extracto de agua a 30°C como en el de isopropanol al 15% a 70°C (Tabla 9). Esto sugiere que los extractos cumplen con los estándares de seguridad alimentaria respecto a metales pesados, lo que indica un bajo riesgo de toxicidad por estos elementos.

Se observa una ligera diferencia en la concentración de algunos metales entre los extractos. La concentración de cobre, hierro y manganeso incrementó en un 13%, 19% y 40%, respectivamente, en los extractos obtenidos con isopropanol al 15% a 70 °C, en comparación con agua pura a 30 °C (Tabla 9). Este aumento puede atribuirse a la capacidad del isopropanol para extraer metales asociados con componentes específicos del estípite, como polisacáridos o proteínas, lo que sugiere un efecto sinérgico entre el solvente, la temperatura y la estructura química de la matriz (Rahmati et al., 2024).

Algunos metales detectados, como el hierro, manganeso y zinc, son oligoelementos esenciales para el metabolismo humano. Por ejemplo: el hierro es importante para la formación de hemoglobina, el manganeso está relacionado con la actividad antioxidante de enzimas y el zinc es esencial para el sistema inmunológico y el metabolismo enzimático (Anwar et al., 2024).

Los bajos niveles de metales tóxicos y las concentraciones moderadas de metales esenciales refuerzan la viabilidad de estos extractos como posibles ingredientes en formulaciones terapéuticas o nutracéuticas. Sin embargo, es importante realizar pruebas adicionales para confirmar la ausencia de bioacumulación en caso de consumo prolongado. En resumen, los extractos de *Pleurotus ostreatus* muestran un perfil de metales seguro, con potenciales beneficios nutricionales.

Tabla 9. Contenido de metales en extractos de *Pleurotus ostreatus*

Metal	Extracto 1 (mg/kg)	Extracto 2 (mg/kg)	LMP	Fuente
Aluminio Total	< 1,000	< 1,000	No disponible	No disponible
Antimonio Total	< 0,010	< 0,010	No disponible	No disponible
Arsénico Total	< 0,0100	< 0,0100	0.5 mg/kg	(Unión Europea, 2023)
Bario Total	< 0,030	< 0,030	No disponible	No disponible
Boro Total	< 0,200	< 0,200	No disponible	No disponible
Cadmio Total	< 0,010	< 0,010	0.15 mg/kg	(Unión Europea, 2023)
Cobalto Total	< 0,01	< 0,01	No disponible	No disponible
Cobre Total	0,1369	0,1550	No disponible	No disponible
Cromo Total	< 0,030	< 0,030	No disponible	No disponible
Estaño Total	< 0,010	< 0,010	200 mg/kg	(Unión Europea, 2023)
Hierro Total	0,806	0,957	No disponible	No disponible
Litio Total	< 0,100	< 0,100	No disponible	No disponible
Magnesio Total	< 25	< 25	No disponible	No disponible
Manganeso Total	0,063	0,088	No disponible	No disponible
Mercurio Total	< 0,0100	< 0,0100	0.10 mg/kg	(Unión Europea, 2023)
Molibdeno Total	< 0,010	< 0,010	No disponible	No disponible
Níquel Total	< 0,010	< 0,010	No disponible	No disponible
Plata Total	< 0,050	< 0,050	No disponible	No disponible
Plomo Total	< 0,010	0,012	0.30 mg/kg	(Unión Europea, 2023)
Selenio Total	< 0,050	< 0,050	No disponible	No disponible
Titanio Total	< 0,030	0,032	No disponible	No disponible
Vanadio Total	< 0,030	< 0,030	No disponible	No disponible
Zinc Total	< 0,10	0,41	No disponible	No disponible

NOTA: Extracto 1 (agua pura, 30°C), Extracto 2 (Isopropanol 15%, 70°C), LMP (limite máximo permisible)

VI. CONCLUSIONES

La extracción asistida por ultrasonido combinada con agua pura a 30°C, fue la más eficiente en la recuperación de polifenoles a partir de residuos (estípite) de *Pleurotus ostreatus*. Estos parámetros permitieron recuperar un contenido total de polifenoles de 7,57 mg EAG/gss, con capacidad antioxidante de IC_{50} 7.97 mg/mL y de 91,80 µmol ET/gss para valores DPPH y ORAC, respectivamente.

El análisis de perfil de polifenoles específicos, mostró que la extracción asistida por ultrasonido con agua pura a 30°C favoreció la recuperación de ácidos fenólicos (1.536 µg/gss), estilbenos (2.686 µg/gss), flavanoles (2.548 µg/gss), flavonoles (26.432 µg/gss) y flavona (0.169 µg/gss), mientras que el uso de isopropanol al 15% a 30 °C favoreció la recuperación de feniletanoides (1.271 µg/gss) y secoiridoide (0.400 µg/gss). Entonces, la elección de un tipo de solvente permitirá un mejor proceso selectivo de polifenoles.

En relación a la capacidad anti-hiperglucémica, los extractos obtenidos con agua pura a 30°C mostraron una inhibición del 31% sobre α-amilasa de y del 59% sobre α glucosidasa. Estos resultados demostraron el gran potencial del estipíte de *Pleurotus osteratus* para inhibir enzimas relacionadas con la diabetes mellitus tipo 2, lo que valida su potencial como alternativa terapéutica para el tratamiento de esta enfermedad.

En los análisis de metales pesados se confirmó que su contenido no supero los límites máximos permisibles, garantizando la seguridad del extracto para aplicaciones futuras.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda investigar el uso de diferentes solventes a temperaturas moderadas en combinación con el ultrasonido para aumentar la eficiencia de la extracción de polifenoles específicos, como los flavonoides y los feniletanoides, que son de interés terapéutico.

Dado el potencial antioxidante y anti-hiperglucémico de los extractos de Pleurotus ostreatus, sería necesario realizar estudios que involucren la aplicación de los extractos en alimentos o suplementos, evaluando su efectividad en la reducción de las enzimas α-amilasa y α-glucosidasa en modelos in vitro e in vivo.

Aunque los extractos no presentaron niveles elevados de metales pesados, se recomienda realizar un estudio toxicológico más detallado para garantizar su seguridad y viabilidad para su consumo.

Se sugiere integrar etapas adicionales de purificación y concentración a los extractos obtenidos en el proceso de extracción asistida por ultrasonido, estas etapas permitirían eliminar compuestos no deseados y obtener extractos más puros y concentrados, lo que permitirá su aplicación en el desarrollo de productos funcionales o terapéuticos con un alto valor agregado.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFÍCA

Abbas, K. A., Mohamed, A., Abdulamir, A. S., & Abas, H. A. (2008). A Review on Supercritical Fluid Extraction as New Analytical Method. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, *4*(4), 345–353. https://doi.org/10.3844/AJBBSP.2008.345.353

Accomasso, G., Turku, F., Sapino, S., Chirio, D., Peira, E., & Gallarate, M. (2024). Resveratrol: Extraction Techniques, Bioactivity, and Therapeutic Potential in Ocular Diseases. *Scientia Pharmaceutica*, *92*(4), 59. https://doi.org/10.3390/scipharm92040059

Aguchem, R. N., Chibuogwu, C. C., Okolo, B. O., Oyeagu, U., Etim, V. E., Anaele, E. N., & Njoku, O. U. (2022). *Nutrient and Antinutrient Composition of Pleurotus ostreatus Grown on Different Substrates*. 69. https://doi.org/10.3390/iecps2021-11955

Alonso-Riaño, P., Diez, M. T. S., Blanco, B., Beltrán, S., Trigueros, E., & Benito-Román, O. (2020). Water ultrasound-assisted extraction of polyphenol compounds from brewer's spent grain: Kinetic study, extract characterization, and concentration. Antioxidants, 9(3). https://doi.org/10.3390/antiox9030265

Alqahtani, A. S., Hidayathulla, S., Rehman, M. T., Elgamal, A. A., Al-Massarani, S., Razmovski-Naumovski, V., Alqahtani, M. S., El Dib, R. A., & Alajmi, M. F. (2020). Alpha-amylase and alpha-glucosidase enzyme inhibition and antioxidant potential of 3-oxolupenal and katononic acid isolated from Nuxia oppositifolia. Biomolecules, 10(1). https://doi.org/10.3390/biom10010061

Angelini, P., Pellegrino, R. M., Tirillini, B., Flores, G. A., Alabed, H. B. R., Ianni, F., Blasi, F., Cossignani, L., Venanzoni, R., Orlando, G., Menghini, L., & Ferrante, C. (2021). Metabolomic profiling and biological activities of pleurotus columbinus quél. Cultivated on different agri-food byproducts. *Antibiotics*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/antibiotics10101245

Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. https://doi.org/10.3390/app12042107

Anwar, M. S., Khan, A., Ahmad, L., Khan, A., Mateen, A., Jahan, S., Ullah, U., AlMasoud, N., Alomar, T. S., Rauf, A., Khan, F. U., & Ain Nawaz, N. U. (2024). Quantification of toxic heavy metals, trace elements and essential minerals contents in traditional herbal medicines commonly utilized in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Heliyon*, *10*(3), e25384. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E25384

Association American Diabetes. (2007). Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. Diabetes Care, 30(suppl_1), S42–S47. https://doi.org/10.2337/DC07

Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, *99*(1), 191–203. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2005.07.042

Barik, S. K., Sengupta, S., Arya, R., Kumar, S., Kim, J. J., & Chaurasia, R. (2025). Dietary Polyphenols as Potential Therapeutic Agents in Type 2 Diabetes Management: Advances and Opportunities. *Advances in Nutrition*, *16*(1), 100346. https://doi.org/10.1016/J.ADVNUT.2024.100346

Barrientos-Ávalos, J. R., Morel-Cerda, E. C., Félix-Téllez, F. A., Vidrio-Huerta, B. E., Aceves-Ayala, A. R., Flores-Rendón, Á. R., & Velarde-Ruiz Velasco, J. A. (2024). Gastrointestinal adverse effects of old and new antidiabetics: How do we deal with them in real life? *Revista de Gastroenterología de México (English Edition)*, *89*(4), 521–532. https://doi.org/10.1016/J.RGMXEN.2024.10.008

Brand-Williams, Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Food Sci. Technol.*, *28*, 25–30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Brazkova, M., Angelova, G., Mihaylova, D., Stefanova, P., Pencheva, M., Gledacheva, V., Stefanova, I., & Krastanov, A. (2022). Bioactive Metabolites from the Fruiting Body and Mycelia of Newly-Isolated Oyster Mushroom and Their Effect on Smooth Muscle Contractile Activity. *Foods*, *11*(24). https://doi.org/10.3390/foods11243983

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, *34*, 540–560. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2016.06.035

Chirinos, R., Campos, D., Warnier, M., Pedreschi, R., Rees, J. F., & Larondelle, Y. (2008). Antioxidant properties of mashua (Tropaeolum tuberosum) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food Chemistry*, *111*(1), 98–105. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.038

Chukwuma, I. F., Nworah, F. N., Apeh, V. O., Omeje, K. O., Nweze, E. J., Asogwa, C. D., & Ezeorba, T. P. C. (2022). Phytochemical Characterization, Functional Nutrition, and Anti-Diabetic Potentials of Leptadenia hastata (pers) Decne Leaves: In Silico and In Vitro Studies. *Bioinformatics and Biology Insights*, *16*. https://doi.org/10.1177/11779322221115436

Clodi, M., Abrahamian, H., Brath, H., Brix, J., Drexel, H., Fasching, P., Föger, B., Francesconi, C., Fröhlich-Reiterer, E., Harreiter, J., Hofer, S. E., Hoppichler, F., Huber, J., Kaser, S., Kautzky-Willer, A., Lechleitner, M., Ludvik, B., Luger, A.,

Mader, J. K., Zlamal-Fortunat, S. (2019). Antihyperglycemic treatment guidelines for diabetes mellitus type 2 (Update 2019). Wiener Klinische Wochenschrift, 131(Suppl 1), 27–38. https://doi.org/10.1007/S00508-019-1471-Z

Condori, G., & Torres, Y. (2021). *Estudio de mercado para la comercialización de hongos comestibles (pleurotus ostreatus), del distrito de San Jerónimo provincia del Cusco-202.*

Coppa, C. F. S. C., Gonçalves, B. L., In Lee, S. H., Nunes, V. M. R., Gonçalves, C. B., Rodrigues, C. E. C., & Oliveira, C. A. F. (2020). Extraction of oleuropein from olive leaves and applicability in foods. Quality Assurance and Safety of Crops and Foods, 12(4), 50–62. https://doi.org/10.15586/qas.v12i4.779

Dasiman, R., Nor, N. M., Eshak, Z., Mutalip, S. S. M., Suwandi, N. R., & Bidin, H. (2022). A review of procyanidin: Updates on current bioactivities and potential health benefits. In *Biointerface Research in Applied Chemistry* (Vol. 12, Issue 5, pp. 5918–5940). AMG Transcend Association. https://doi.org/10.33263/BRIAC125.59185940

de Araújo, F. F., de Paulo Farias, D., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2021). Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. In *Food Chemistry* (Vol. 338). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127535

Dedousi, M., Melanouri, E. M., Karayannis, D., Kaminarides, E. I., & Diamantopoulou, P. (2024). Utilization of spent substrates and waste products of mushroom cultivation to produce new crops of Pleurotus ostreatus, Pleurotus eryngii and Agaricus bisporus. Carbon Resources Conversion, 7(2), 100196. https://doi.org/10.1016/J.CRCON.2023.08.001

Dehghan, H., Sarrafi, Y., & Salehi, P. (2016). Antioxidant and antidiabetic activities of 11 herbal plants from Hyrcania region, Iran. *Journal of Food and Drug Analysis*, *24*(1), 179–188. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.06.010

Demesa, A. G., Saavala, S., Pöysä, M., & Koiranen, T. (2024). Overview and Toxicity Assessment of Ultrasound-Assisted Extraction of Natural Ingredients from Plants. In *Foods* (Vol. 13, Issue 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/foods13193066

Díaz Muñoz, K., Guajardo, M. C., Alberto, C., Torres, L., Luis, &, Gil Ramírez, A., Betzabet, C., Vásquez, B., & Cabos Sánchez, J. (2019). Producción de Pleurotus ostreatus (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, *26*(3), 1177–1184. https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.263.26322

Ding, Q., Sheikh, A. R., Gu, X., Li, J., Xia, K., Sun, N., Wu, R. A., Luo, L., Zhang, Y., & Ma, H. (2021). Chinese Propolis: Ultrasound-assisted enhanced ethanolic extraction, volatile components analysis, antioxidant and antibacterial activity comparison.

Food Science and Nutrition, *9*(1), 313–330. https://doi.org/10.1002/fsn3.1997

Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Y. H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of Limnophila aromatica. *Journal of Food and Drug Analysis*, *22*(3), 296–302. https://doi.org/10.1016/J.JFDA.2013.11.001

Dufossé, L., Ferreira Santos, P., Laaroussi, H., Mohamed Ben Abdellah University, S., & Hu, F. (2023). *Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from Chinese propolis*.

Dzah, C. S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020). The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. In *Food Bioscience* (Vol. 35). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100547

Effiong, M. E., Bella-Omunagbe, M., Afolabi, I. S., & Chinedu, S. N. (2024). In silico evaluation of potential breast cancer receptor antagonists from GC-MS and HPLC identified compounds in Pleurotus ostreatus extracts. *RSC Advances*, *14*(33), 23744–23771. https://doi.org/10.1039/d4ra03832k

Egra, S., IRAWAN WIJAYA KUSUMA, ENOS TANGKE ARUNG, & HARLINDA KUSPRADINI. (2019). The potential of white-oyster mushroom (Pleurotus ostreatus) as antimicrobial and natural antioxidant. *Biofarmasi Journal of Natural Product Biochemistry*, *17*(1). https://doi.org/10.13057/biofar/f170102

Elhusseiny, S. M., El-Mahdy, T. S., Awad, M. F., Elleboudy, N. S., Farag, M. M. S., Yassein, M. A., & Aboshanab, K. M. (2021). Proteome Analysis and In Vitro Antiviral, Anticancer and Antioxidant Capacities of the Aqueous Extracts of Lentinula edodes and Pleurotus ostreatus Edible Mushrooms. *Molecules 2021, Vol. 26, Page 4623*, *26*(15), 4623. https://doi.org/10.3390/MOLECULES26154623

Eltamany, E., Machado-Carvalho, L., Martins, T., Aires, A., & Marques, G. (2023). *Optimization of Phenolic Compounds Extraction and Antioxidant Activity from Inonotus hispidus Using Ultrasound-Assisted Extraction Technology*. https://doi.org/10.3390/metabo13040524

Espinosa-Alonso, L. G., Lygin, A., Widholm, J. M., Valverde, M. E., & Paredes-Lopez, O. (2006). Polyphenols in wild and weedy Mexican common beans (Phaseolus vulgaris L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(12), 4436–4444. https://doi.org/10.1021/JF060185E

Freitas De Oliveira, C., Giordani, D., Lutckemier, R., Deyse Gurak, P., Cladera-Olivera, F., Damasceno, L., & Marczak, F. (2016). *Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound*. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.027

Gogoi, P., Chutia, P., Singh, P., & Mahanta, C. L. (2019). Effect of optimized ultrasound-assisted aqueous and ethanolic extraction of Pleurotus citrinopileatus mushroom on

total phenol, flavonoids and antioxidant properties. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(6). https://doi.org/10.1111/jfpe.13172

Hu, D. B., Xue, R., Zhuang, X. C., Zhang, X. S., & Shi, S. L. (2023). Ultrasound-assisted extraction optimization of polyphenols from Boletus bicolor and evaluation of its antioxidant activity. *Frontiers in Nutrition*, *10*. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1135712

Ianni, F., Blasi, F., Angelini, P., Di Simone, S. C., Flores, G. A., Cossignani, L., & Venanzoni, R. (2021). Extraction optimization by experimental design of bioactives from pleurotus ostreatus and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities. *Processes*, *9*(5). https://doi.org/10.3390/pr9050743

INEI. (2023). *Informe de Enfermedades No Transmisibles y Transmisible.*

IMARC. (2024). Tamaño del Mercado de Champiñones, Participación | Informe [2024-2032]. https://www.imarcgroup.com/report/es/mushroom-market

Jang, K.-Y., Jhune, C.-S., Park, J.-S., Cho, S.-M., Weon, H.-Y., Cheong, J.-C., Choi, S.-G., & Sung, J.-M. (2003). Characterization of Fruitbody Morphology on Various Environmental Conditions in Pleurotus ostreatus. *Mycobiology*, *31*(3), 145. https://doi.org/10.4489/myco.2003.31.3.145

Kadam, P., Yadav, K., Karanje, A., Giram, D., Mukadam, R., & Patil, M. (2023). THE FOOD AND MEDICINAL BENEFITS OF OYSTER MUSHROOM (PLEUROTUS OSTREATUS): A REVIEW. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 14(2), 883. https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.14(2).883-90

Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. *Molecules 2013, Vol. 18, Pages 2328-2375*, *18*(2), 2328–2375. https://doi.org/10.3390/MOLECULES18022328

Kotadiya, U., Talaviya, J., Shah, K., & Lathiya, S. (2021). *Morphological and Molecular Identication of Oyster Mushroom [Pleurotus Ostreatus (Jacq.) P. Kumm]*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-934342/v1

Kumar, K., Srivastav, S., & Sharanagat, V. S. (2021). Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. Ultrasonics Sonochemistry, 70. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2020.105325

La Sala, L., & Pontiroli, A. E. (2020). Prevention of Diabetes and Cardiovascular Disease in Obesity. *International Journal of Molecular Sciences 2020, Vol. 21, Page 8178*, *21*(21), 8178. https://doi.org/10.3390/IJMS21218178

Lalrohlui, F., Ghatak, S., Zohmingthanga, J., Hruaii, V., & Kumar, N. S. (2021). Fermented pork fat (Sa-um) and lifestyle risk factors as potential indicators for type

2 diabetes among the Mizo population, Northeast India. *Journal of Health, Population and Nutrition*, *40*(1). https://doi.org/10.1186/s41043-021-00257-8

Lin, J. A., Kuo, C. H., Chen, B. Y., Li, Y., Liu, Y. C., Chen, J. H., & Shieh, C. J. (2016). A novel enzyme-assisted ultrasonic approach for highly efficient extraction of resveratrol from Polygonum cuspidatum. Ultrasonics Sonochemistry, 32, 258–264. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.03.018

lkay Koca, A. K. İ., & Gençcelep, H. (2011). Antioxidant Properties of Wild Edible Mushrooms. *Journal of Food Processing & Technology*, *02*(06). https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000130

Macit, C., Eyupoglu, O. E., Macit, M., & Zengin, G. (2024). Chemical characterization and biological properties of oyster and shiitake mushrooms extracts and their liposomal formulations. *Food Bioscience*, *61*. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104737

Markhali, F. S., & Teixeira, J. A. (2024). Extractability of oleuropein, hydroxytyrosol, tyrosol, verbascoside and flavonoid-derivatives from olive leaves using ohmic heating (a green process for value addition). *Sustainable Food Technology*, *2*(2), 461–469. https://doi.org/10.1039/d3fb00252g

Matkovits, A., Fodor, M., & Jókai, Z. (2024). Analysis of Polyphenol Patterns of Pleurotus ostreatus Cultivars by UHPLC-ESI-MS/MS; Application of FT-NIR and Chemometric Methods, Classification Options. *Chemosensors*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/chemosensors12020019

Mihai, R. A., Melo Heras, E. J., Florescu, L. I., & Catana, R. D. (2022). The Edible Gray Oyster Fungi Pleurotus ostreatus (Jacq. ex Fr.) P. Kumm a Potent Waste Consumer, a Biofriendly Species with Antioxidant Activity Depending on the Growth Substrate. *Journal of Fungi*, *8*(3). https://doi.org/10.3390/JOF8030274

Mustafa, A., & Turner, C. (2011). Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review. In *Analytica Chimica Acta* (Vol. 703, Issue 1, pp. 8–18). https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.07.018

Nnemolisa, S. C., Chukwurah, C. C., Edeh, S. C., Aguchem, R. N., Chibuogwu, C. C., Aham, E. C., Chukwu, M. C., Obiora, M. O., Anyebe, D. E., & Okagu, I. U. (2024). Antidiabetic and antioxidant potentials of Pleurotus ostreatus -derived compounds: An in vitro and in silico approach. *Food Chemistry Advances*, *4*. https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100639

Obluchinskaya, E. D., Pozharitskaya, O. N., Shevyrin, V. A., Kovaleva, E. G., Flisyuk, E. V., & Shikov, A. N. (2023). Optimization of Extraction of Phlorotannins from the Arctic Fucus vesiculosus Using Natural Deep Eutectic Solvents and Their HPLC Profiling with Tandem High-Resolution Mass Spectrometry. *Marine Drugs*, *21*(5). https://doi.org/10.3390/md21050263

Ogidi, C. O., Ubaru, A. M., Ladi-Lawal, T., Thonda, O. A., Aladejana, O. M., & Malomo, O. (2020). Bioactivity assessment of exopolysaccharides produced by Pleurotus pulmonarius in submerged culture with different agro-waste residues. *Heliyon*, *6*(12). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05685

OMS. (2023). *Enfermedades no transmisibles*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases

Pagano, I., Campone, L., Celano, R., Piccinelli, A. L., & Rastrelli, L. (2021). Green non-conventional techniques for the extraction of polyphenols from agricultural food by-products: A review. Journal of Chromatography A, 1651. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462295

Panel, E., & Nda, A. (2014). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for zinc. EFSA Journal, 12(10). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3844

Panel, E., & Nda, A. (2015). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for magnesium. EFSA Journal, 13(7), 1–63. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4186

Papageorgiou, C. S., Lyri, P., Xintaropoulou, I., Diamantopoulos, I., Zagklis, D. P., & Paraskeva, C. A. (2022). High-Yield Production of a Rich-in-Hydroxytyrosol Extract from Olive (Olea europaea) Leaves. *Antioxidants*, *11*(6). https://doi.org/10.3390/antiox11061042

Parham, S., Kharazi, A. Z., Bakhsheshi-Rad, H. R., Nur, H., Ismail, A. F., Sharif, S., Ramakrishna, S., & Berto, F. (2020). Antioxidant, antimicrobial and antiviral properties of herbal materials. *Antioxidants*, *9*(12), 1–36. https://doi.org/10.3390/ANTIOX9121309

Pronyk, C., & Mazza, G. (2009). Design and scale-up of pressurized fluid extractors for food and bioproducts. *Journal of Food Engineering*, *95*(2), 215–226. https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2009.06.002

ProInnóvate. (2020, September 1). *Cusco: Producen semillas de hongos comestibles de alta calidad con energía solar - Noticias - Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación - ProInnóvate - Plataforma del Estado Peruano*. https://www.gob.pe/institucion/proinnovate/noticias/324872-cusco-producen-semillas-de-hongos-comestibles-de-alta-calidad-con-energia-solar

PROMPERÚ. (2023). Exportaciones de demás hongos excepto del genero agaricus, gelatinosos y orejas de judas (0712390000). https://exportemos.pe/descubre-oportunidades-de-exportacion/producto/hongos-0712390000

Pyrzynska, K., & Pękal, A. (2013). Application of free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) to estimate the antioxidant capacity of food samples. In *Analytical Methods* (Vol. 5, Issue 17, pp. 4288–4295). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/c3ay40367j

Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Revisión Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. Nutr Hosp, 27(1), 76–89. https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418

Radzki, W., Ziaja-Sołtys, M., Nowak, J., Rzymowska, J., Topolska, J., Sławińska, A., Michalak-Majewska, M., Zalewska-Korona, M., & Kuczumow, A. (2016). Effect of processing on the content and biological activity of polysaccharides from Pleurotus ostreatus mushroom. *LWT*, *66*, 27–33. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.016

Rahimah, S. B., Djunaedi, D. D., Soeroto, A. Y., & Bisri, T. (2019). The phytochemical screening, total phenolic contents and antioxidant activities in vitro of white oyster mushroom (Pleurotus ostreatus) preparations. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, *7*(15), 2404–2412. https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.741

Rahmati, S., Adavodi, R., Hosseini, M. R., & Veglio', F. (2024). Efficient Metal Extraction from Dilute Solutions: A Review of Novel Selective Separation Methods and Their Applications. In *Metals* (Vol. 14, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/met14060605

Rasouli, H., Farzaei, M. H., & Khodarahmi, R. (2017). Polyphenols and their benefits: A review. In *International Journal of Food Properties* (Vol. 20, pp. 1700–1741). Taylor and Francis Inc. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1354017

Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current Overview of Mushroom Production in the World. *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, 5–13. https://doi.org/10.1002/9781119149446.CH2

Sánchez, C. (2010). Cultivation of Pleurotus ostreatus and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *85*(5), 1321–1337. https://doi.org/10.1007/S00253-009-2343-7

Shamtsyan, M., & Pogacnik, L. (2020). Antiradical and antidiabetic activity of Pleurotus ostreatus extracts. *E3S Web of Conferences*, *215*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021505006

Singh, A., Kukreti, R., Saso, L., & Kukreti, S. (2022). *molecules Mechanistic Insight into Oxidative Stress-Triggered Signaling Pathways and Type 2 Diabetes*. https://doi.org/10.3390/molecules

Singh, M., Kamal, S., & Sharma, V. P. (2022). Species and region-wise mushroom production in leading mushroom producing countries - China, Japan, USA, Canada and India. *Mushroom Research*, *30*(2), 99. https://doi.org/10.36036/mr.30.2.2021.119394

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*(3), 144–158. https://doi.org/10.5344/AJEV.1965.16.3.144

Sithole, S. C., Agboola, O. O., Mugivhisa, L. L., Amoo, S. O., & Olowoyo, J. O. (2022). Elemental concentration of heavy metals in oyster mushrooms grown on mine polluted soils in Pretoria, South Africa. *Journal of King Saud University - Science*, *34*(2), 101763. https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2021.101763

Stastny, J., Marsik, P., Tauchen, J., Bozik, M., Mascellani, A., Havlik, J., Landa, P., Jablonsky, I., Treml, J., Herczogova, P., Bleha, R., Synytsya, A., & Kloucek, P. (2022). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity of Five Medicinal Mushrooms of the Genus Pleurotus. *Antioxidants*, *11*(8). https://doi.org/10.3390/antiox11081569

Tecchio Borsoi, F., Angélica Neri-Numa, I., Queiroz de Oliveira, W., Fernandes de Araújo, F., & Maria Pastore, G. (2023). Dietary polyphenols and their relationship to the modulation of non-communicable chronic diseases and epigenetic mechanisms: A mini-review. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, *6*, 100155. https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100155

Teodoro, A. J. (2019). Bioactive Compounds of Food: Their Role in the Prevention and Treatment of Diseases. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2019, 3765986. https://doi.org/10.1155/2019/3765986

Thu, Z. M., Ko Myo, K., Aung, H. T., Clericuzio, M., Armijos, C., & Vidari, G. (2020). Bioactive phytochemical constituents of wild edible mushrooms from Southeast Asia. *Molecules*, *25*(8). https://doi.org/10.3390/MOLECULES25081972

Turkmen, N., Sedat Velioglu, Y., Sari, F., & Polat, G. (2007). molecules Effect of Extraction Conditions on Measured Total Polyphenol Contents and Antioxidant and Antibacterial Activities of Black Tea. In Molecules (Vol. 12). http://www.mdpi.org

Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Peláez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Aggett, P., Crous Bou, M., Cubadda, F., Ciccolallo, L., Naska, A. (2023). Scientific opinion on the tolerable upper intake level for selenium. EFSA Journal, 21(1). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7704

Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Aggett, P., Fairweather-Tait, S., de Sesmaisons Lecarré, A., Fabiani, L., Karavasiloglou, N., … Naska, A. (2024). Scientific opinion on the tolerable upper intake level for iron. EFSA Journal, 22(6), 1–106. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8819

Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Bornhorst, J., Cubadda, F., Dopter, A., FitzGerald, R., de Sesmaisons Lecarré, A., … Naska, A. (2023). Scientific opinion on the tolerable upper intake level for manganese. EFSA Journal, 21(12). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8413

Ucar, T. M., & Karadag, A. (2019). The effects of vacuum and freeze-drying on the physicochemical properties and in vitro digestibility of phenolics in oyster mushroom (Pleurotus ostreatus). *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(3), 2298–2309. https://doi.org/10.1007/S11694-019-00149-W/METRICS

Union Europea (2023). Regulation - 2021/1323 - EN - EUR-LEX. http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1323/oj

Valencia-Hernandez, L. J., Wong-Paz, J. E., Ascacio-Valdés, J. A., Chávez-González, M. L., Contreras-Esquivel, J. C., & Aguilar, C. N. (2021). Procyanidins: From agro-industrial waste to food as bioactive molecules. *Foods*, *10*(12). https://doi.org/10.3390/foods10123152

Valverde, M. E., Hernández-Pérez, T., & Paredes-López, O. (2015). Edible mushrooms: Improving human health and promoting quality life. *International Journal of Microbiology*, *2015*. https://doi.org/10.1155/2015/376387

Venturella, G., Ferraro, V., Cirlincione, F., & Gargano, M. L. (2021). Medicinal mushrooms: Bioactive compounds, use, and clinical trials. International Journal of Molecular Sciences, 22(2), 1–31. https://doi.org/10.3390/IJMS22020634

Vilkhu, K., Mawson, R., Simons, L., & Bates, D. (2008). Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry - A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *9*(2), 161–169. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.014

Villalobos-Pezos, M., Muñoz-Fariña, O., Ah-Hen, K. S., Garrido-Figueroa, M. F., García-Figueroa, O., González-Esparza, A., Medina, L. G.-P. de, & Bastías-Montes, J. M. (2024). Optimization of Phenolic Content Extraction and Effects of Drying Treatments on Physicochemical Characteristics and Antioxidant Properties of Edible Mushroom Pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kumm (Oyster Mushroom). *Antioxidants 2024, Vol. 13, Page 1581*, *13*(12), 1581. https://doi.org/10.3390/ANTIOX13121581

Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 17, Issue 6, pp. 300–312). https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.12.004

Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zandile, M., Duan, Y., Ma, H., & Luo, X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. Ultrasonics Sonochemistry, 48, 538–549. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018

Yu, W., Zhang, Y., Lu, Y., Ouyang, Z., Peng, J., Tu, Y., & He, B. (2025). Recent research on the bioactivity of polyphenols derived from edible fungi and their potential in chronic disease prevention. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 124). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106627

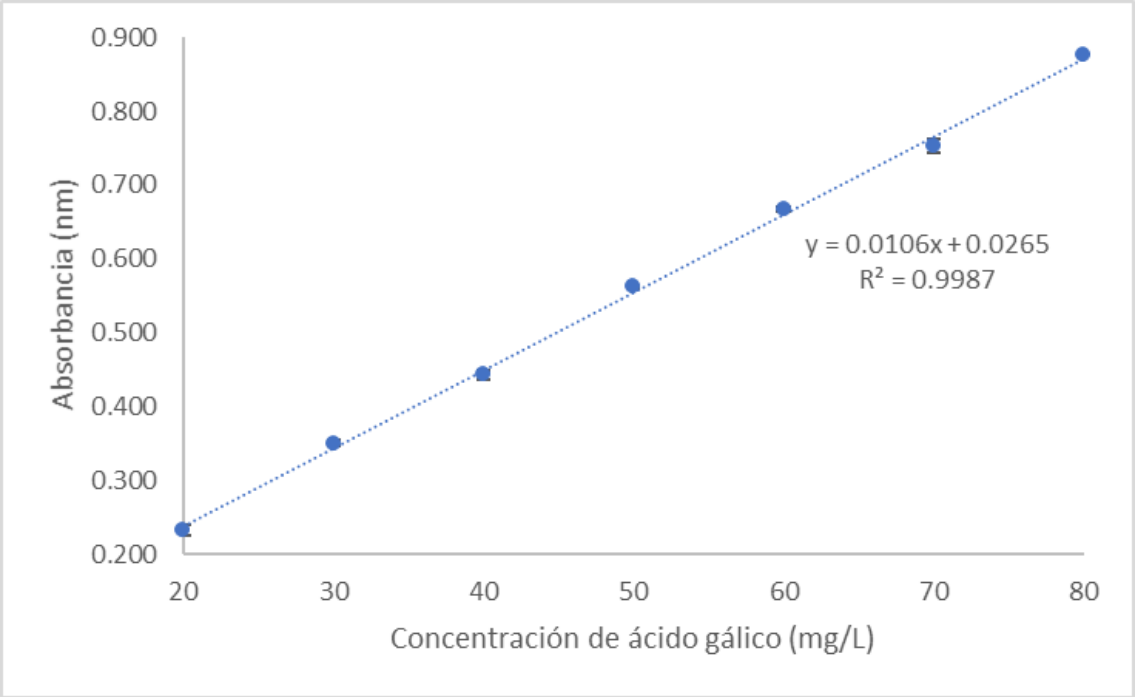
Zhang, Y., Hu, T., Zhou, H., Zhang, Y., Jin, G., & Yang, Y. (2016). Antidiabetic effect of polysaccharides from Pleurotus ostreatus in streptozotocin-induced diabetic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, *83*, 126–132. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2015.11.045

Zhao, Q., Liu, X., Cui, L., & Ma, C. (2024). Extraction and bioactivities of the chemical composition from Pleurotus ostreatus: a review. *Journal of Future Foods*, *4*(2), 111–118. https://doi.org/10.1016/J.JFUTFO.2023.06.001

Zhu, Y., Chen, Y., Li, Q., Zhao, T., Zhang, M., Feng, W., Takase, M., Wu, X., Zhou, Z., Yang, L., & Wu, X. (2014). Preparation, characterization, and anti-Helicobacter pylori activity of Bi3+-Hericium erinaceus polysaccharide complex. *Carbohydrate Polymers*, *110*, 231–237. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.03.081

IX. ANEXOS

Anexo 1. Curva de calibración de ácido gálico



	Absorbancia					
Concentración (mg/L)	R1	R2	R3	Promedio	Desv. Estandar	CV
20	0.238	0.235	0.224	0.232	0.007	3.173
30	0.347	0.353	0.352	0.351	0.003	0.917
40	0.445	0.447	0.436	0.443	0.006	1.324
50	0.564	0.563	0.560	0.562	0.002	0.370
60	0.670	0.664	0.668	0.667	0.003	0.458
70	0.750	0.764	0.745	0.753	0.010	1.308
80	0.876	0.878	0.872	0.875	0.003	0.349

Nota: R1, R2 y R3 son las repeticiones y CV el coeficiente de variación

Anexo 2. Contenido de polifenoles totales de los extractos

Tratamiento			Absorbancia a 765 nm		Concentración (mg EAG/L)		Corrección con FD		Concentración (mg EAG/gss)		Promedio (mg EAG/gss)	Desv. Estandar	CV
Tecnología de extracción	Solvente	Temperatura (°C)	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2			
Extracción asistida por ultrasonido	Agua pura	30	0.819	0.824	75.476	75.952	150.95	151.90	7.55	7.60	7.57	0.034	0.445
		70	0.688	0.691	63.000	63.286	126.00	126.57	6.30	6.33	6.31	0.020	0.320
	Etanol 15%	30	0.569	0.565	51.667	51.286	103.33	102.57	5.17	5.13	5.15	0.027	0.523
		70	0.463	0.476	41.571	42.810	83.14	85.62	4.16	4.28	4.22	0.088	2.075
	Isopropanol 15%	30	0.550	0.532	49.857	48.143	99.71	96.29	4.99	4.81	4.90	0.121	2.474
		70	0.415	0.413	37.000	36.810	74.00	73.62	3.70	3.68	3.69	0.013	0.365

Nota: FD es el factor de dilución, R1 y R2 son las repeticiones y CV el coeficiente de variación

Anexo 3. Capacidad antioxidante por DPPH de los extractos de *Pleurotus ostreatus*

CONDICIONES	FD	Concentración (mg/mL)	Abs muestra			% Inhibición			IC50	Promedio	Desv. Estandar
Agua 30°C R1	2	10.0	0.191	0.19	0.189	61.876	62.076	62.275	7.981	7.97	0.01
	5	4.0	0.374	0.374	0.371	25.349	25.349	25.948			
	10	2.0	0.417	0.424	0.42	16.766	15.369	16.168			
Agua 30°C R2	2	10.0	0.195	0.191	0.191	61.078	61.876	61.876	7.962		
	5	4.0	0.358	0.357	0.363	28.543	28.743	27.545			
	10	2.0	0.433	0.431	0.435	13.573	13.972	13.174			
Agua 70°C R1	2	10.0	0.244	0.244	0.243	51.297	51.297	51.497	9.637	9.74	0.14
	4	5.0	0.359	0.358	0.359	28.343	28.543	28.343			
	6	3.3	0.409	0.428	0.416	18.363	14.571	16.966			
Agua 70°C R2	2	10.0	0.249	0.246	0.251	50.299	50.898	49.900	9.838		
	4	5.0	0.34	0.339	0.341	32.136	32.335	31.936			
	6	3.3	0.38	0.38	0.386	24.152	24.152	22.954			
EtOH 15% 30°C R1	1.5	13.3	0.167	0.167	0.169	67.636	66.667	66.267	9.512	9.37	0.20
	2	10.0	0.237	0.228	0.228	52.695	54.491	54.491			
	3	6.7	0.326	0.323	0.314	34.930	35.529	37.325			
EtOH 15% 30°C R2	1.5	13.3	0.161	0.164	0.162	67.864	67.265	67.665	9.235		
	2	10.0	0.235	0.223	0.219	53.094	55.489	56.287			
	3	6.7	0.314	0.316	0.307	37.325	36.926	38.723			
EtOH 15% 70°C R1	1.5	13.3	0.215	0.215	0.214	57.086	57.086	57.285	11.484	11.50	0.02
	2	10.0	0.275	0.275	0.274	45.110	45.110	45.309			
	3	6.7	0.358	0.358	0.357	28.543	28.543	28.743			
EtOH 15% 70°C R2	1.5	13.3	0.225	0.221	0.225	56.395	57.171	56.395	11.507		
	2	10.0	0.281	0.281	0.285	45.543	45.543	44.767			
	3	6.7	0.36	0.363	0.361	30.233	29.651	30.039			
IsoOH 15% 30°C R1	1.5	13.3	0.241	0.241	0.241	53.295	53.295	53.295	12.186	12.04	0.21
	2	10.0	0.291	0.289	0.291	43.605	43.992	43.605			
	3	6.7	0.343	0.345	0.343	33.527	33.140	33.527			
IsoOH 15% 30°C R2	1.5	13.3	0.235	0.23	0.235	54.457	55.426	54.457	11.886		
	2	10.0	0.289	0.289	0.291	43.992	43.992	43.605			
	3	6.7	0.352	0.349	0.349	31.783	32.364	32.364			
IsoOH 15% 70°C R1	1.5	13.3	0.251	0.261	0.257	51.357	49.419	50.194	13.080	13.05	0.04
	2	10.0	0.285	0.285	0.285	44.767	44.767	44.767			
	3	6.7	0.32	0.317	0.316	37.984	38.566	38.760			
IsoOH 15% 70°C R2	1.5	13.3	0.255	0.255	0.256	50.581	50.581	50.388	13.026		
	2	10.0	0.283	0.281	0.281	45.155	45.543	45.543			
	3	6.7	0.305	0.307	0.306	40.891	40.504	40.698			

Nota: FD es el factor de dilución, Abs es la absorbancia, IC50 es la concentración necesaria para inhibir el 50% del radical DPPH

Anexo 4. Capacidad antioxidante por ORAC de los extractos de *Pleurotus ostreatus*

Tratamiento					Concentración (µM/L)			Concentración (µM ET/gss)			PROMEDIO (µM ET/gss)
Tecnología de extracción	Solvente	Temperatura (°C)	FD	Repetición	R1	R2	R3	R1	R2	R3	
Extracción asistida por ultrasonido	Agua pura	30	70	R1	26.590	26.020	26.150	92.875	90.884	91.338	91.699
				R2	26.530	25.280	27.130	92.665	88.299	94.761	91.908
		70	60	R1	26.510	26.720	27.110	79.367	79.996	81.164	80.176
				R2	26.880	26.590	26.760	80.475	79.607	80.116	80.066
	Etanol 15%	30	60	R1	24.840	25.020	25.130	74.368	74.906	75.236	74.837
				R2	25.020	26.050	25.450	74.906	77.990	76.194	76.363
		70	40	R1	27.310	28.020	28.130	54.508	55.925	56.145	55.526
				R2	27.080	27.170	27.480	54.049	54.229	54.848	54.375
	Isopropanol 15%	30	40	R1	30.500	31.400	31.490	60.875	62.672	62.851	62.133
				R2	31.700	31.610	31.340	63.270	63.091	62.552	62.971
		70	40	R1	20.810	21.600	20.120	41.535	43.112	40.158	41.601
				R2	21.870	21.790	21.000	43.651	43.491	41.914	43.018

Nota: FD es el factor de dilución, R1, R2 y R3 son las repeticiones

Anexo 5. Normalidad de los datos de los extractos de *Pleurotus ostreatus*

Extracción por Liquido Presurizado	**Shapiro-Wilk test**	**Normalidad**
	p-valor > 0.05	
Polifenoles	p-valor: 0.207	Cumple con el supuesto de normalidad
DPPH	p-valor: 0.281	Cumple con el supuesto de normalidad
ORAC	p-valor: 0.384	Cumple con el supuesto de normalidad

Anexo 6. Homocedasticidad de los datos de los extractos de *Pleurotus ostreatus*

Extracción por Liquido Presurizado	**Leneve test**	Homocedasticidad
	p-valor > 0.05	
Polifenoles	p-valor: 0.459	Cumple con el supuesto de homogeneidad
DPPH	p-valor: 0.238	Cumple con el supuesto de homogeneidad
ORAC	p-valor: 0.439	Cumple con el supuesto de homogeneidad

Anexo 7. Análisis de varianza y prueba Tukey

Análisis de Varianza para Contenido Polifenoles Totales (CPT)- Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: SOLVENTE	16.3763	2	8.18813	1882.33	0.0000
B: TEMPERATURA	3.85333	1	3.85333	885.82	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0632667	2	0.0316333	7.27	0.0249
RESIDUOS	0.0261	6	0.00435		
TOTAL (CORREGIDO)	20.319	11			

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

Pruebas de Múltiple Rangos para CPT por SOLVENTE

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

SOLVENTE	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
Isopropanol 15%	4	4.295	0.0329773	X
Etanol 15%	4	4.685	0.0329773	X
Agua	4	6.945	0.0329773	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
Agua - Etanol 15%	*	2.26	0.143096
Agua - Isopropanol 15%	*	2.65	0.143096
Etanol 15% - Isopropanol 15%	*	0.39	0.143096

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para CPT por TEMPERATURA

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TEMPERATURA	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
70	6	4.74167	0.0269258	X
30	6	5.875	0.0269258	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
30 - 70	*	1.13333	0.0931759

* indica una diferencia significativa.

Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante por DPPH (IC50) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: SOLVENTE	27.3129	2	13.6565	501.63	0.0000
B: TEMPERATURA	8.62586	1	8.62586	316.85	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.835605	2	0.417802	15.35	0.0044
RESIDUOS	0.163344	6	0.027224		
TOTAL (CORREGIDO)	36.9377	11			

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

Pruebas de Múltiple Rangos para IC50 por SOLVENTE

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

SOLVENTE	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
Agua	4	8.8545	0.0824985	X
Etanol 15%	4	10.5255	0.0824985	X
Isopropanol 15%	4	12.5445	0.0824985	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
Agua - Etanol 15%	*	-1.671	0.35798
Agua - Isopropanol 15%	*	-3.69	0.35798
Etanol 15% - Isopropanol 15%	*	-2.019	0.35798

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para IC50 por TEMPERATURA

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TEMPERATURA	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
30	6	9.79367	0.0673597	X
70	6	11.4893	0.0673597	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
30 - 70	*	-1.69567	0.233096

* indica una diferencia significativa.

Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante por ORAC - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
EFECTOS PRINCIPALES					
A: SOLVENTE	2197.98	2	1098.99	6708.97	0.0000
B: TEMPERATURA	933.033	1	933.033	5695.84	0.0000
INTERACCIONES					
AB	55.2998	2	27.6499	168.79	0.0000
RESIDUOS	0.982856	6	0.163809		
TOTAL (CORREGIDO)	3187.3	11			

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

Pruebas de Múltiple Rangos para ORAC por SOLVENTE

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

SOLVENTE	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
Isopropanol 15%	4	53.096	0.202367	X
Etanol 15%	4	65.774	0.202367	X
Agua	4	85.9623	0.202367	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
Agua - Etanol 15%	*	20.1883	0.878116
Agua - Isopropanol 15%	*	32.8663	0.878116
Etanol 15% - Isopropanol 15%	*	12.678	0.878116

* indica una diferencia significativa.

Pruebas de Múltiple Rangos para ORAC por TEMPERATURA

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TEMPERATURA	*Casos*	*Media LS*	*Sigma LS*	*Grupos Homogéneos*
70	6	59.4597	0.165232	X
30	6	77.0952	0.165232	X

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
30 - 70	*	17.6355	0.571779

* indica una diferencia significativa.

Anexo 8. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la capacidad de inhibición de α-amilasa en extractos de *Pleurotus ostreaus*

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	6	906.8	151.1	0.56	0.762
Error	28	7616.7	272.0		
Total	34	8523.6			

Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Acarbosa (control)	5	77.3	A
Agua 30°C	5	23.5	
Etanol 15% 30°C	5	16.93	
Agua 70°C	5	16.79	
Isopropanol 15% 30°C	5	16.20	
Etanol 15% 70°C	5	13.72	
Isopropanol 15% 70°C	5	11.67	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Pruebas simultáneas de Dunnett para la media de nivel – Media de control

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Agua 30°C - Acarbosa	-3.8	10.4	(-32.3; 24.6)	-0.37	0.998
Agua 70°C - Acarbosa	-10.5	10.4	(-39.0; 18.0)	-1.01	0.814
Etanol 15% 3 - Acarbosa	-10.4	10.4	(-38.9; 18.1)	-1.00	0.821
Etanol 15% 7 - Acarbosa	-13.6	10.4	(-42.1; 14.9)	-1.30	0.615
Isopropanol - Acarbosa	-11.1	10.4	(-39.6; 17.4)	-1.07	0.778
Isopropanol - Acarbosa	-15.7	10.4	(-44.1; 12.8)	-1.50	0.482

Nivel de confianza individual = 98.92%

Anexo 9. Análisis de varianza y prueba de comparación de medias para la capacidad de inhibición de α-glucosilasa en extractos de *Pleurotus ostreaus*

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	6	10965	1827.6	7.90	0.000
Error	28	6474	231.2		
Total	34	17440			

Agrupar información utilizando el método de Dunnett y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Acarbosa (control)	5	70.61	A
Isopropanol 15% 30°C	5	64.93	A
Agua 30°C	5	33.16	
Etanol 15% 30°C	5	26.01	
Agua 70°C	5	23.79	
Etanol 15% 70°C	5	16.82	
Isopropanol 15% 70°C	5	12.95	

Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Pruebas simultáneas de Dunnett para la media de nivel – Media de control

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
Agua 30°C Acarbosa	-37.45	9.62	(-63.71; -11.19)	-3.89	0.003
Agua 70°C - Acarbosa	-46.82	9.62	(-73.09; -20.56)	-4.87	0.000
Etanol 15% 3 - Acarbosa	-44.60	9.62	(-70.87; -18.34)	-4.64	0.000
Etanol 15% 7 - Acarbosa	-53.80	9.62	(-80.06; -27.53)	-5.59	0.000
Isopropanol - Acarbosa	-35.69	9.62	(-61.95; -9.42)	-3.71	0.005
Isopropanol - Acarbosa	-57.67	9.62	(-83.93; -31.40)	-6.00	0.000

Nivel de confianza individual = 98.92%

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : María Estefany Poma Manzano
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 76196700
Correo electrónico : mariapoma.911@gmail.com
Teléfono/Celular : 918326417

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Estudio de un proceso asistido por ultrasonido para obtener extractos con potencial antioxidante y antihiperglucémico a partir de residuos de Pleurotus ostreatus
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....
c) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Nils Leander Huamán Castilla
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 41939181
c) ORCID : 0000-0002-3748-0883

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 76196700
NOMBRES Y APELLIDOS : María Estefany Poma Manzano

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 76196700

NOMBRES Y APELLIDOS : María Esterany Poma Manzano

FECHA : 17/07/2025



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, María Estefany Poma Manzano,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Agroindustrial,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº. 76196700, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
"Estudio de un proceso asistido por ultrasonido para obtener extractos con potencial antioxidante y antihiperglucémico a partir de residuos de Pleurotus ostreatus"

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 17 de julio del 2025

Huella digital

Nombres y Apellidos: María Estefany Poma Manzano
DNI: 76196700

María Estefany Poma Manzano

Informe Final.docx

Universidad Nacional de Moquegua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:474862456

Fecha de entrega
19 jul 2025, 4:05 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
19 jul 2025, 4:09 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
Informe Final.docx

Tamaño de archivo
11.0 MB

54 Páginas

13.153 Palabras

73.438 Caracteres

turnitin Página 1 of 59 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::3117:474862456

11% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
3% Publicaciones
6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Internet
repositorio.unam.edu.pe 1%

2 Trabajos entregados
Pontificia Universidad Catolica de Chile on 2023-08-21 <1%

3 Internet
www.coursehero.com <1%

4 Internet
unam.edu.pe <1%

5 Internet
www.clubensayos.com <1%

6 Trabajos entregados
ucb on 2025-01-24 <1%

7 Internet
nanopdf.com <1%

8 Trabajos entregados
Universidad de Costa Rica on 2021-06-04 <1%

9 Internet
repositorio.unamba.edu.pe <1%

10 Trabajos entregados
Universidad Catolica San Antonio de Murcia on 2025-06-26 <1%

11 Trabajos entregados
Universidad de Salamanca on 2024-11-06 <1%

12 Internet
wiki2.org <1%

13 Publicación
Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lentej... <1%

14 Publicación
Nils Leander Huamán-Castilla, Luis Omar Mamani Apaza, Franz Zirena Vilca, Erick... <1%

15 Publicación
Beatriz dos Santos Cugnasca. "Síntese de novos Seleno-BODIPYs e suas aplicaçõe... <1%

16 Trabajos entregados
Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE o... <1%

17 Internet
biotecnia.unison.mx <1%

18 Internet
cathi.uacj.mx <1%

19 Internet
patents.google.com <1%

20 Internet
repositorio.unican.es <1%

21 Internet
www.slideshare.net <1%

22 Trabajos entregados
Universidad Autónoma de Nuevo León on 2023-10-06 <1%

23 Trabajos entregados
Universidad Europea de Madrid on 2024-07-05 <1%

24 Trabajos entregados
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2023-11-03 <1%

25 Trabajos entregados
Universidad Nacional del Centro del Peru on 2025-03-23 <1%

26 Trabajos entregados
Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC on 2024-12-01 <1%

27 Trabajos entregados
Universidad de Manizales on 2018-10-24 <1%

28 Internet
diabetesb.blogspot.com <1%

29 Internet
es.scribd.com <1%

30 Internet
hdl.handle.net <1%

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 520-2025-CU-UNAM

Moquegua, 12 de agosto de 2025

VISTOS:

El Proveído N° 3045-2025-R de fecha 08 de agosto de 2025 emitido por el Rectorado, Informe N° 309-2025-UNAM-R/SG de fecha 08 de agosto de 2025 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° 087-2025-UNAM/SEGE/GYT emitido por la Especialista Administrativo I–Grados y Títulos, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Ordinaria N° 007-2025-SO-CU-UNAM, de fecha 08 de agosto de 2025, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8° de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley N° 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 14° del Estatuto de la UNAM, aprobado bajo Resolución N° 578-2021-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece: Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 9, del artículo 16 del Estatuto de la UNAM;

Que, el Sr. Rector es el personero y representante legal de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme a lo dispuesto por la Ley N° 30220-Ley Universitaria, tiene a su cargo la Dirección, Conducción y Gestión del Gobierno Universitario en todos sus ámbitos, concordante con el artículo 18 y numeral 2 del artículo 20° del Estatuto de la UNAM;

Que, mediante Informe Técnico N° 087-2025-UNAM/SEGE/GYT, de fecha 07 de agosto de 2025, e Informe N° 309-2025-UNAM-R/SG de fecha 08 de agosto, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial de la Bachiller: POMA MANZANO MARIA ESTEFANY de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, quien se encuentra apta para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de Actividades y Servicios Académicos y la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial; razón por la cual, el señor Secretario General incluye dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Ordinaria de Consejo Universitario de fecha 08 de agosto de 2025;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante Resolución Rectoral N° 209-2025-R-UNAM de fecha 04 de agosto de 2025, se resolvió ENCARGAR el Despacho del Rectorado de la Universidad Nacional de Moquegua, al Dr. Alejandro Manuel Ecos Espino, en su calidad de Vicerrector Académico, para que ejerza las funciones correspondientes en ausencia del Rector de la Universidad Nacional de Moquegua, los días 11 y 12 de agosto de 2025;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Ordinaria N° 007-2025-SO-CU-UNAM, de fecha 08 de agosto de 2025, emitió, el siguiente, Acuerdo; POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial por la modalidad de sustentación de tesis a la Bachiller: POMA MANZANO

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 570168
Página Web: www.unam.edu.pe

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 520-2025-CU-UNAM

Moquegua, 12 de agosto de 2025

MARIA ESTEFANY de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220-Ley Universitaria, el Estatuto de la UNAM, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a la Bachiller

- **POMA MANZANO MARIA ESTEFANY**

TESIS : "ESTUDIO DE UN PROCESO ASISTIDO POR ULTRASONIDO PARA OBTENER EXTRACTOS CON POTENCIAL ANTIOXIDANTE Y ANTIHIPERGLUCÉMICO A PARTIR DE RESIDUOS DE Pleurotus ostreatus", cuyo Asesor Principal fue el Dr. Nils Leander Huamán Castilla, y el Co-Asesor el Dr. Erick Manuel Saldaña Villa.

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General a través de quien corresponda, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria – SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE, Y CÚMPLASE;

ABOG. EDGAR PINTO HUANCAVILCA
SECRETARIO GENERAL

DR. ALEJANDRO MANUEL ECOS ESPINO
RECTOR (e)
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA
VRI
FACIA
EPIA
DASA
OTI
Interesado
c.e. Arch.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe