

# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORMES DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

Evaluación de propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas en harina y concentrados proteicos de hongos ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*)

Autor:

Roberto Carlos Morán Reascos

Director:

Ing. Juan Diego Valenzuela Cobos, PhD.

*Milagro, 2023*

## Derechos de autor

**Sr. Dr.**

**Fabricio Guevara Viejó**

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, Roberto Carlos Morán Reascos, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación Alimentación y Nutrición de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 15 de abril de 2024



firmado electrónicamente por:  
ROBERTO CARLOS  
MORAN REASCOS

Roberto Carlos Morán Reascos

1725581175

## Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Yo, **Juan Diego Valenzuela Cobos** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Roberto Carlos Morán Reascos**, cuyo tema es **Evaluación de propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas en harina y concentrados proteicos de hongo ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*)**, que aporta a la Línea de Investigación **Alimentación y Nutrición**, previo a la obtención del Grado Magister en Biotecnología. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 15 de abril de 2024



Ing. Juan Diego Valenzuela Cobos, PhD.  
C.I. 0927981670

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA**

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. MORÁN REASCOS ROBERTO CARLOS**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FUNCIONALES, NUTRICIONALES Y ACTIVIDADES BIOLÓGICAS EN HARINA Y CONCENTRADOS PROTEICOS DE HONGOS OSTRA ROSADO (PLEUROTUS DJAMOR) Y HONGO OSTRA GRIS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	57.33
SUSTENTACIÓN	39.67
PROMEDIO	97.00
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado electrónicamente por:  
ALEX EDWIN GUILLEN  
BONILLA

Ing. GUILLEN BONILLA ALEX EDWIN  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:  
DIEGO GEOVANNY  
BARZALLO GRANIZO

Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY  
VOCAL



Firmado electrónicamente por:  
MARÍA FERNANDA  
GARCÉS MONCAYO

Msc GARCÉS MONCAYO MARÍA FERNANDA  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

## DEDICATORIA

*A Eva, Juli y Wanda, por habitar este mundo.*

## AGRADECIMIENTOS

*Al Vicerrectorado de Investigación y Vinculación de la Universidad Estatal de Bolívar, dirigido por el Ing. Carlos Ribadeneira PhD, por haberme apoyado en el desarrollo de esta investigación.*

*A María Fernanda Quinteros, por su incondicional amistad.*

*A mi familia.*

*La ciencia es la poesía de la realidad. Richard Dawkins.*

# **Evaluación de propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas en harina y concentrados proteicos de hongos ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*)**

## **Resumen**

El rápido crecimiento poblacional crea una necesidad urgente de requerimiento de proteínas de fuentes alternativas a la animal y vegetal, a la vez que se ven disminuidos los suelos destinados a producción de alimentos. Los hongos del género *Pleurotus* representan una opción prometedora de alimentación sostenible, debido a que poseen proteínas de excelente valor nutricional y poseen la capacidad de crecer en diversos sustratos como residuos agroindustriales y su cultivo es relativamente sencillo, pero la poca acogida que tienen los hongos como fuente de alimentación se puede deber en parte al desconocimiento de sus propiedades.

En este estudio se evaluaron las propiedades funcionales, además se evaluó la actividad antioxidante mediante los métodos ABTS, FRAP Y DPPH, la actividad antiinflamatoria y se analizó el perfil nutricional de harina y concentrados proteicos de los hongos. Los hongos estudiados poseen alto contenido proteico (31%) sin mostrar diferencia significativa en ambas especies evaluadas y se obtuvieron concentrados proteicos con un 64,83 % de proteína para el hongo ostra rosado. Mediante electroforesis SDS-PAGE se encontraron proteínas, en ambas especies, principalmente en el rango de entre 20 kDa y 30 kDa. La muestra analizada que mayor actividad antioxidante presentó en los tres métodos analizados fue la harina de hongo ostra gris, mientras que en el análisis de contenido de polifenoles totales no hubo diferencia significativa entre las dos especies analizadas. En cuanto a la actividad antiinflamatoria in vitro, el concentrado proteico de hongo ostra rosado presentó un valor de 12,15 % de protección. En relación con las propiedades funcionales, las muestras analizadas presentaron una relación directamente proporcional entre solubilidad proteica y pH, alcanzando su mayor solubilidad a un pH de 12,0. Y finalmente, la muestra que presentó mayor capacidad de absorción de agua fue la harina de hongo ostra rosado y la que presentó mayor capacidad de absorción de aceite fue la harina de hongo ostra gris.

Este estudio proporciona una evaluación integral de las propiedades de harina y concentrados proteicos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*. Los resultados sugieren un potencial significativo para el desarrollo de alimentos enriquecidos con proteína y con propiedades antioxidantes y contribuye al conocimiento proporcionando información valiosa para la industria alimentaria y promoviendo alternativas alimenticias más saludables y sostenibles.

**Palabras clave:** *Pleurotus*, actividades biológicas, concentrados proteicos

# Evaluation of functional and nutritional properties and biological activities in flour and protein concentrates of pink oyster mushrooms (*Pleurotus djamor*) and gray oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*)

## Abstract

The accelerated demographic growth of recent years creates an urgent need for protein from alternative sources to animal and vegetable sources, while at the same time the land used for food production is diminished. Mushrooms of the *Pleurotus* genus represent a promising option for sustainable food because they have proteins of excellent nutritional value and can grow in various substrates such as agro-industrial waste and their cultivation is relatively simple, but the little reception that mushrooms have as power supply may be due in part to ignorance of its properties.

In this study, the functional properties were evaluated, the antioxidant activity was also evaluated using the ABTS, FRAP and DPPH methods, the anti-inflammatory activity and the nutritional profile of flour and protein concentrates of the mushrooms was analyzed. The mushrooms studied have high protein content (31%) without showing a significant difference in both species evaluated and protein concentrates with 64.83% protein were obtained for the pink oyster mushroom. Using SDS-PAGE electrophoresis proteins were found in both species mainly in the range between 20 kDa and 30 kDa. The sample analyzed that presented the highest antioxidant activity in the three methods analyzed was gray oyster mushroom flour, while in the analysis of total polyphenol content there was no significant difference between the two species analyzed. Regarding the in vitro anti-inflammatory activity, the pink oyster mushroom protein concentrate presented a protection value of 12.15%. In relation to the functional properties, the samples presented a directly proportional relationship between protein solubility and pH, reaching its highest solubility at a pH of 12.0. And finally, the sample that had the greatest water absorption capacity was the pink oyster mushroom flour and the one that had the greatest oil absorption capacity was the gray oyster mushroom flour.

This study provides a comprehensive evaluation of the properties of flour and protein concentrates from *Pleurotus djamor* and *Pleurotus ostreatus*. The results suggest

significant potential for the development of foods enriched with protein and antioxidant properties and contribute to knowledge by providing valuable information for the food industry and promoting healthier and more sustainable food alternatives.

**Key-words:** *Pleurotus*, biological activities, protein concentrates.

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de la variable dependiente: actividad antioxidante .....	7
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de la variable dependiente: actividad antiinflamatoria ...	7
<b>Tabla 3</b> Operacionalización de la variable dependiente: composición nutricional.....	8
<b>Tabla 4</b> Operacionalización de la variable dependiente: propiedades funcionales ....	8
<b>Tabla 5</b> Operacionalización de la variable independiente: Variedad.....	9
<b>Tabla 6</b> Operacionalización de la variable independiente: Tipo de muestra .....	9
<b>Tabla 7</b> Análisis proximal de harina y concentrados proteicos de hongos .....	32
<b>Tabla 8</b> Cuantificación de proteína .....	33
<b>Tabla 9</b> Polifenoles totales.....	35
<b>Tabla 10</b> Actividad antioxidante.....	35
<b>Tabla 11</b> Actividad antiinflamatoria.....	36
<b>Tabla 12</b> Capacidad de absorción de agua y aceite.....	38
<b>Tabla 13</b> Densidad.....	39

## Lista de Siglas / Acrónimos

- **SDS PAGE:** sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis
- **FRAP:** Ferric Reducing Antioxidant Power
- **ABTS:** 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)
- **DPPH:** 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo
- **TROLOX:** 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid
- **ET:** equivalente de TROLOX
- **UV/VIS:** ultravioleta-visible
- **BCA:** ácido bicinconínico
- **EAG:** equivalente de ácido gálico
- **TPTZ:** 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine
- **HR:** harina hongo ostra rosado
- **HG:** harina hongo ostra gris
- **PR:** concentrado proteico hongo ostra rosado
- **PG:** concentrado proteico hongo ostra gris

## Índice / Sumario

Derechos de autor.....	ii
Aprobación del director del Trabajo de Titulación.....	iii
Aprobación del tribunal calificador.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	ix
Introducción.....	1
Capítulo I: El problema de la investigación.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Delimitación del problema.....	3
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Preguntas de investigación.....	4
1.5 Determinación del tema.....	5
1.6 Objetivo general.....	5
1.7 Objetivos específicos.....	5
1.8 Hipótesis.....	5
1.9 Declaración de las variables.....	7
1.10 Justificación.....	9
1.11 Alcance y limitaciones.....	10
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial.....	12
2.1 Antecedentes.....	12
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación.....	16
2.2.1 Los hongos comestibles.....	16
2.2.2 Pleurotus spp.....	17
2.2.3 Concentrados proteicos.....	17
2.2.4 Electroforesis SDS-PAGE.....	18

2.2.5	Polifenoles.....	18
2.2.6	Actividades biológicas en hongos .....	19
2.2.7	Actividad antioxidante .....	20
2.2.8	Actividad antiinflamatoria .....	20
2.2.9	Propiedades funcionales de las proteínas .....	21
CAPÍTULO III: Diseño metodológico.....		22
3.1	Tipo y diseño de investigación.....	22
3.2	La población y la muestra .....	23
3.2.1	Características de la población .....	23
3.2.2	Delimitación de la población .....	23
3.2.3	Tipo de muestra .....	23
3.2.4	Tamaño de la muestra .....	23
3.2.5	Proceso de selección de la muestra .....	23
3.3	Los métodos y las técnicas.....	24
3.3.1	Obtención de la harina .....	24
3.3.2	Obtención de los concentrados proteicos .....	24
3.3.3	Análisis proximal .....	24
3.3.4	Cuantificación de proteína .....	25
3.3.5	Electroforesis SDS-PAGE.....	25
3.3.6	Preparación de extractos .....	26
3.3.7	Cuantificación de polifenoles totales .....	26
3.3.8	Actividad antioxidante ABTS.....	27
3.3.9	Actividad antioxidante FRAP.....	28
3.3.10	Actividad antioxidante DPPH .....	28
3.3.11	Actividad antiinflamatoria <i>in vitro</i> , método del potencial de estabilización de la membrana .....	29
3.3.12	Propiedades funcionales.....	29
3.3.13	Densidad aparente.....	30

3.3.16	Capacidad de absorción de aceite .....	31
3.4	Procesamiento estadístico de la información .....	31
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados .....		32
4.1	Análisis de los resultados .....	32
4.1.1	Análisis proximal .....	32
4.1.2	Cuantificación de proteína .....	32
4.1.3	Electroforesis SDS-PAGE .....	33
4.1.4	Polifenoles totales .....	34
4.1.5	Actividad antioxidante .....	35
4.1.6	Actividad antiinflamatoria .....	36
4.1.7	Propiedades funcionales .....	36
4.1.8	Capacidad de retención de agua y aceite .....	37
4.1.9	Densidad .....	38
4.2	Interpretación de los resultados .....	39
4.2.1	Análisis proximal de los concentrados proteicos y de la harina de <i>Pleurotus djamor</i> y <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	39
4.2.2	Cuantificación de proteína .....	40
4.2.3	Electroforesis SDS-PAGE .....	41
4.2.4	Polifenoles totales .....	42
4.2.5	Actividad antioxidante .....	43
4.2.6	Actividad antiinflamatoria .....	43
4.2.7	Propiedades funcionales .....	44
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones .....		47
5.1	Conclusiones .....	47
5.2	Recomendaciones .....	48
	Bibliografía .....	49
	Anexos .....	57



## Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas (2022), se proyecta que la población mundial alcance los 9700 millones de habitantes para el año 2050. Este crecimiento demográfico ocasionaría que la demanda de alimentos se duplique, y a la vez, aumentaría el uso de cultivos para producir bioenergía, lo que resultaría en una disminución progresiva del espacio destinado a la agricultura (FAO, 2009). Los hongos comestibles representan una prometedora alternativa alimentaria de producción sostenible debido a que se pueden cultivar en residuos agroindustriales.

El consumo de hongos no es muy extendido en el mundo si se compara con la carne, por ejemplo, en China, en el 2005 se produjeron 70,8 millones de toneladas de carne (Steinfeld, 2008), mientras que en el mismo año se produjeron 1411 toneladas de hongos, recalcando que China es el principal país productor de hongos (Sánchez, 2010).

Sánchez y Mata (2012), mencionaron que la falta de estadísticas oficiales en América Latina sobre la producción y consumo de hongos puede ser debido a su baja producción y demanda. Por esta razón se decidió trabajar con estas especies y sus concentrados proteicos, con la finalidad de generar un producto que cause menos rechazo al consumidor y fomentar su consumo.

Los hongos ostra (*Pleurotus*) tienen un alto contenido de proteína, entre el 19% al 35% (González et al., 2021; Thirumuruga et al., 2022; M. Wang & Zhao, 2023). Además, se ha documentado (Shi & Shao, 2003) que los hongos comestibles poseen la gama completa de aminoácidos esenciales lo que los convierte en una alternativa para la proteína animal. Los concentrados proteicos de hongos comestibles del género *Pleurotus*, debido a su alto valor nutricional, pueden ser un producto ideal para ser introducido en la dieta humana, por esto el objetivo principal del trabajo es evaluar las propiedades nutricionales, funcionales y actividades biológicas en harina y concentrados proteicos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*.

# Capítulo I: El problema de la investigación

## 1.1 Planteamiento del problema

El aumento de la población mundial, la mala distribución de alimentos y la escasez de alimentos en diversos sectores son problemáticas relevantes que influyen en la necesidad de buscar alternativas alimentarias sostenibles. Según el Fondo Monetario Internacional (FMI), la crisis alimentaria mundial exige medidas de apoyo para las personas, el libre comercio y el aumento de las cosechas locales (*La Crisis Alimentaria Mundial Exige Medidas de Apoyo Para Las Personas, El Libre Comercio y El Aumento de Las Cosechas Locales*, 2022). La falta de acceso a alimentos es una de las principales causas del hambre a nivel mundial, y se ve agravada por factores como la mala distribución de alimentos, la escasez de infraestructura adecuada para el almacenamiento y transporte de alimentos, y el impacto del cambio climático en la producción de alimentos (Bread for the World, 2022). Además, la presión sobre la disponibilidad de alimentos se ve acentuada por el alarmante crecimiento de la población mundial, lo que plantea desafíos significativos para garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo (*Capítulo 5: Población, Alimentación, Nutrición y Planificación Familiar*, n.d.). En este contexto, la búsqueda de alternativas alimentarias sostenibles, como el aprovechamiento de hongos comestibles con alto valor nutricional, se vuelve crucial para abordar estas problemáticas y garantizar la disponibilidad de alimentos para la creciente población mundial.

Los hongos comestibles del género *Pleurotus*, como el *Pleurotus djamor* y el *Pleurotus ostreatus*, representan una alternativa alimentaria sostenible debido a su capacidad para crecer en residuos agroindustriales y su alto contenido de proteína y aminoácidos esenciales (Martínez, 2012). A pesar de estas ventajas, su consumo es limitado en comparación con otros alimentos, como la carne (del Toro & Aguilar, 2020a). La evaluación de las propiedades funcionales de harinas de estos hongos también es importante para mejorar su valor nutricional y promover su consumo (Martínez, 2012). Este enfoque es relevante, ya que

contribuye a generar conocimiento científico sobre la realidad alimentaria y nutricional, identificar las causas y consecuencias del bajo consumo de hongos comestibles, y proponer soluciones viables y efectivas para mejorar la calidad de la alimentación y la salud de la población.

## 1.2 Delimitación del problema

La investigación se enfocó en cepas de hongos comerciales de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* cultivados y distribuidos por la empresa Intiwasi, ubicada en la parroquia de Tumbaco, en el cantón Quito y los análisis se realizaron en los laboratorios de Biotecnología, Análisis Instrumental y Preparación de muestras del Centro de Investigación del Vicerrectorado de Investigación y Vinculación de la Universidad Estatal de Bolívar en la ciudad de Guaranda. Los análisis que se consideraron para su evaluación fueron: análisis bromatológicos, para evidenciar sus propiedades nutricionales, análisis de actividad antioxidante por diferentes métodos y actividad antiinflamatoria para evidenciar las actividades biológicas y análisis de las propiedades funcionales de interés industrial.

La investigación no incluyó otros factores tales como diferentes sustratos para el cultivo de los hongos, ni el procedimiento incluyó el cultivo y se usaron hongos frescos cosechados debido al poco tiempo disponible para la investigación.

## 1.3 Formulación del problema

En la búsqueda de alternativas sostenibles y nutritivas en la producción de alimentos, los hongos comestibles pueden ser una gran opción. Debido a sus propiedades prometedoras, son importantes las investigaciones en calidad nutricional, propiedades funcionales e inclusive actividades biológicas, para fomentar el interés a la industria y a los consumidores. Por lo tanto, es necesario investigar y comparar de manera sistemática las características funcionales, el perfil nutricional y las actividades biológicas presentes en las harinas y concentrados proteicos obtenidos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*. Este estudio busca no solo llenar el vacío existente en la literatura científica, sino

también proporcionar información valiosa para impulsar el desarrollo de alimentos enriquecidos y sostenibles a partir de estos hongos, contribuyendo así al avance de la investigación en el ámbito de la alimentación funcional y la nutrición.

Asimismo, se ha demostrado que los hongos del género *Pleurotus* son ricos en nutrientes lo que resalta su potencial como fuente de proteínas (del Toro & Aguilar, 2020a; Salmones, 2017). Esto hace importante el estudio de las propiedades mencionadas, en concentrados proteicos de hongos del género *Pleurotus*, con el potencial uso en alimentos enriquecidos con proteínas de hongos.

Por lo antes mencionado, la formulación del problema es la siguiente:

¿La harina y concentrados proteicos de hongos ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*) poseen buenas propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas?

#### 1.4 Preguntas de investigación

- ¿Cómo varía la actividad antioxidante de los extractos obtenidos de la harina y de los concentrados proteicos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* utilizando los métodos ABTS, FRAP y DPPH?
- ¿Cuál es la capacidad antiinflamatoria de los extractos de harina y de concentrados proteicos del hongo ostra rosado y ostra gris?
- ¿Cuáles son los perfiles nutricionales específicos de la harina y los concentrados proteicos obtenidos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*?
- ¿Cómo difieren las propiedades funcionales, como la solubilidad y la capacidad de retención de agua y aceite, entre los concentrados proteicos y la harina de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*?

## 1.5 Determinación del tema

Evaluación de propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas en harina y concentrados proteicos de hongos ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*).

## 1.6 Objetivo general

Evaluar las propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas en harina y concentrados proteicos de hongos ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y ostra gris (*Pleurotus ostreatus*).

## 1.7 Objetivos específicos

- Analizar la actividad antioxidante de extractos de hongos ostra rosado y ostra gris mediante los métodos ABTS, FRAP y DPPH.
- Determinar la actividad antiinflamatoria *in vitro* mediante el método de protección de la membrana.
- Caracterizar la composición nutricional de la harina y concentrados proteicos de hongo ostra rosado y ostra gris.
- Analizar las propiedades funcionales de los concentrados proteicos y harina de hongos ostra rosado y hongo ostra gris.

## 1.8 Hipótesis

### Actividad antioxidante

- **H<sub>0</sub>**: No hay diferencia significativa en la actividad antioxidante entre los concentrados proteicos y la harina de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*.

- **H<sub>1</sub>**: Existe una diferencia significativa en la actividad antioxidante entre los extractos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*, siendo una muestra superior a otro.

### **Actividad antiinflamatoria**

- **H<sub>0</sub>**: Las medias de los porcentajes de protección de la membrana celular entre las muestras de hongo ostra rosado y hongo ostra gris son iguales.
- **H<sub>1</sub>**: Por lo menos una muestra presenta diferencia significativa en el porcentaje de protección de la membrana celular entre los extractos de harina y concentrado proteico de hongo ostra rosado y hongo ostra gris.

### **Composición nutricional**

- **H<sub>0</sub>**: No hay diferencias significativas en los perfiles nutricionales entre la harina y concentrados proteicos entre *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*.
- **H<sub>1</sub>**: Existen diferencias significativas en los perfiles nutricionales entre la harina y concentrados proteicos entre *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*.

### **Propiedades funcionales**

- **H<sub>0</sub>**: No hay diferencias significativas en las propiedades funcionales entre los concentrados proteicos y la harina entre hongo ostra rosado y hongo ostra gris.
- **H<sub>1</sub>**: Existen diferencias significativas en las propiedades funcionales entre los concentrados proteicos y la harina entre hongo ostra rosado y hongo ostra gris.

## 1.9 Declaración de las variables

### Variables dependientes

**Tabla 1** Operacionalización de la variable dependiente: actividad antioxidante

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes	Técnicas	Instrumentos
Capacidad de analitos presentes en los hongos para neutralizar radicales libres y reducir el estrés oxidativo	Medida de la actividad antioxidante mediante los métodos ABTS, FRAP y DPPH	$\mu\text{mol ET/g}$ de muestra	¿Cómo se medirá la capacidad antioxidante de los hongos ostra rosado y ostra gris?	Análisis de laboratorio	Espectrofotómetro UV/VIS

**Tabla 2** Operacionalización de la variable dependiente: actividad antiinflamatoria

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes	Técnicas	Instrumentos
Capacidad de los hongos para proteger las células contra el daño inflamatorio in vitro.	Medición de la actividad antiinflamatoria mediante el método de protección de la membrana celular in vitro	Porcentaje de protección de la membrana celular	¿Cómo se evaluará la actividad antiinflamatoria de los hongos?	Análisis de laboratorio	Espectrofotómetro UV/VIS

**Tabla 3** Operacionalización de la variable dependiente: composición nutricional

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes	Técnicas	Instrumentos
Contenido de nutrientes presentes en la harina y concentrados proteicos de los hongos.	Análisis proximal de la harina y concentrados proteicos.	Contenidos específicos de cada nutriente expresados en porcentaje	¿Cuáles serán los procedimientos para analizar proteínas, grasas, carbohidratos, fibra, humedad y cenizas?	Análisis de laboratorio	Espectrofotómetro UV/VIS Analizador elemental Estufa Mufla Balanza Soxhlet

**Tabla 4** Operacionalización de la variable dependiente: propiedades funcionales

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes	Técnicas	Instrumentos
Características físicas y químicas que afectan el comportamiento de la harina y concentrados proteicos de los hongos.	Evaluación de propiedades funcionales, como solubilidad, capacidad de retención de agua, aceite, densidad.	Solubilidad de la proteína en distintos valores de pH. Porcentaje de retención de agua y aceite. Valores de densidad.	¿Cómo se medirán las propiedades funcionales?	Análisis de laboratorio	Espectrofotómetro UV/VIS Potenciómetro Balanza

## VARIABLES INDEPENDIENTES:

**Tabla 5** Operacionalización de la variable independiente: Variedad

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes	Técnicas	Instrumentos
Diferentes variedades de hongos del género <i>Pleurotus</i> .	Muestras específicas de cada especie de hongo	A1= <i>Pleurotus djamor</i> A2= <i>Pleurotus ostreatus</i>	¿Cómo afecta la especie de hongo evaluada en cada variable dependiente?	Análisis de laboratorio	Ultracongelador -80 °C

**Tabla 6** Operacionalización de la variable independiente: Tipo de muestra

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Interrogantes	Técnicas	Instrumentos
Diferencia entre el tipo de muestra utilizado, ya sea harina o concentrado proteico, derivado de las especies de hongos	Obtención de la harina y concentrados proteicos	B1= harina B2= concentrados proteicos	¿Cómo afecta el tipo de muestra evaluado en cada variable dependiente?	Análisis de laboratorio	Liofilizador Molino Potenciómetro

### 1.10 Justificación

La creciente necesidad de alimentos que sean fuentes de proteínas, alternativas y sostenibles, que proporcionen beneficios nutricionales y funcionales, ha llevado a un aumento en el interés en los hongos comestibles, especialmente en los hongos del género *Pleurotus*, por su facilidad de cultivo. Estos hongos son ricos en proteínas y podrían tener propiedades funcionales, lo que los convierte en una opción prometedora para la producción de alimentos enriquecidos que podrían

utilizarse como alternativa a la proteína de origen animal. Sin embargo, la falta de estudios exhaustivos que proporcionen una evaluación detallada de la funcionalidad, el perfil nutricional y la bioactividad de los hongos en forma de harina (que facilitarían su conservación) y concentrados proteicos (como ingrediente para enriquecer productos alimenticios) limita el uso de estos hongos en la industria alimenticia o en los consumidores finales. Por lo tanto, es necesario investigar y comparar de manera sistemática las características funcionales, el perfil nutricional y las actividades biológicas presentes en las harinas y concentrados proteicos obtenidos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*.

La harina y los concentrados proteicos obtenidos de hongos del género *Pleurotus* pueden utilizarse en la producción de alimentos funcionales que ayuden a diversificar las fuentes nutricionales. Además, la determinación de las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias puede tener implicaciones importantes para la salud humana, particularmente con el creciente reconocimiento de los beneficios de los alimentos funcionales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es llenar un vacío en la literatura científica mediante la evaluación de las propiedades nutricionales, funcionales y biológicas de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*.

Los resultados de este estudio no sólo harán avanzar el conocimiento científico en el área de la alimentación, sino que también proporcionarán información valiosa a la industria alimentaria, los nutricionistas y consumidores interesados en promover alternativas alimentarias sostenibles y saludables.

## 1.11 Alcance y limitaciones

### Alcance

El presente informe de investigación se centró en la evaluación de las propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas (actividad antioxidante y actividad antiinflamatoria) en harina y concentrados proteicos de hongo ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*). Se abordaron aspectos específicos, como la capacidad antioxidante mediante las metodologías

FRAP, ABTS y DPPH, la actividad antiinflamatoria in vitro, análisis proximal y propiedades funcionales de estos productos derivados de los hongos. El alcance se limitó a estas dimensiones específicas, excluyendo otros posibles aspectos relacionados con el cultivo de los hongos, sustratos, o con la producción a gran escala de estos productos.

## **Limitaciones**

Limitaciones de la muestra: Debido a que el contenido nutricional de los hongos podría variar de acuerdo con el sustrato en el que se los cultive, la obtención de las muestras se limitó a un solo sustrato de hongo ostra rosado y ostra gris, lo que podría afectar la generalización de los resultados a toda la población de estos hongos.

Limitaciones temporales: El estudio se llevó a cabo en un período de tiempo limitado, lo que impidió realizar el trabajo desde el cultivo de las especies utilizadas y se trabajó con especies comerciales de consumo.

Limitaciones de recursos: La disponibilidad limitada de fondos impidió realizar ciertos análisis avanzados (otras actividades biológicas, análisis nutricionales más específicos como perfil de aminoácidos) o la expansión de la muestra, lo que podría haber limitado la amplitud de las conclusiones del estudio.

## CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

### 2.1 Antecedentes

En las últimas décadas, ha habido un creciente interés en el estudio de hongos comestibles, como se puede evidenciar con una búsqueda en las bases de datos de artículos científicos, como fuentes prometedoras de nutrientes y compuestos bioactivos (del Toro & Aguilar, 2020b). Esta tendencia se ha impulsado, en parte, por la búsqueda de alternativas sostenibles y saludables en la alimentación. Sin embargo, a pesar de la atención a los beneficios nutricionales de los hongos, la evaluación detallada de las propiedades funcionales y biológicas de productos derivados, como harinas y concentrados proteicos, sigue siendo un área relativamente poco explorada.

Los hongos comestibles han sido parte de la alimentación humana durante siglos, existen evidencias de cultivo desde el año 600 d.C. (Chang et al., 1999) y entre ellos, los hongos ostra (*Pleurotus* spp.) han ganado reconocimiento debido a su mayor demanda por su facilidad de cultivo y gran variedad de sustratos como subproductos agrícolas, probablemente por esta razón sean el segundo género de hongos más cultivado en el mundo (Vega & Franco, 2013).

Dentro del género *Pleurotus* existen especies que no son producidas comercialmente debido a su escaso tiempo de conservación, pero que son muy importantes por sus propiedades nutricionales, como el hongo ostra rosado (*Pleurotus djamor*), que es un hongo que crece en una amplia variedad de climas y hasta 30 °C por esta razón es considerado como una especie tropical y subtropical que es capaz de producir cuerpos fructíferos después de una a dos semanas de colonizado el sustrato con el micelio (Salmones & Mata, 2015).

En el continente americano se han encontrado ejemplares silvestres prácticamente en toda Latinoamérica, aunque probablemente su distribución sea más amplia. (Salmones, 2017). A su vez, el hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*) ha despertado particular interés en la comunidad científica y la industria alimentaria

debido a su versatilidad culinaria y sus posibles beneficios para la salud, debido a que es considerado un alimento saludable porque es rico en compuestos bioactivos, alta cantidad de proteínas, vitaminas, bajo contenido en grasas (Xia et al., 2011; Zhao et al., 2024a).

Estudios previos han destacado las propiedades nutricionales de los hongos ostra, que los convierten en una fuente importante de proteínas de alta calidad, carbohidratos, vitaminas (especialmente del complejo B), minerales (como hierro, zinc y selenio) y compuestos bioactivos como los betaglucanos y los polifenoles. Además, su bajo contenido en grasas y calorías los hace atractivos como alternativas como alimentos saludables.

Los hongos ostra presentan un alto contenido de proteína que va en un rango desde 20 a 40 %, comparable con el contenido proteico de leguminosas como la soja. Teniendo en cuenta, además, que el contenido proteico puede aumentar o disminuir dependiendo del sustrato que se utilice para el cultivo de los hongos. Es importante resaltar que hongos del género *Pleurotus* poseen todos los aminoácidos esenciales y con buena digestibilidad de la proteína haciendo comparable su calidad proteica con alimentos como huevo, caseína, soja, carne de res, concentrados proteicos de guisantes, entre otros (Carrasco-González et al., 2017a).

Además, los hongos del género *Pleurotus* poseen un alto contenido de carbohidratos como fibra y polisacáridos como los  $\beta$ -glucanos. Estudios han demostrado que estos polisacáridos poseen propiedades biológicas como actividad antitumoral, anticancerígena o propiedades inmunomoduladoras, y además poseen efecto prebiótico significativo. Todas estas propiedades otorgan un potencial a los hongos del género *Pleurotus* para ser usados como ingredientes funcionales en la fabricación de alimentos saludables (Aida et al., 2009).

Los hongos del género *Pleurotus* tiene la actividad de acumular minerales en su cuerpo fructífero, por lo que podrían ser utilizados como suplementos alimenticios en casos de deficiencias de ciertos minerales. En un estudio se analizaron 9 minerales encontrándose en orden de mayor a menos cantidad: K, Ca, P, Mg, Fe,

Zn, Mn, Cu, Li (Fontes Vieira et al., 2013). Además, las especies del género *Pleurotus* tienen un bajo contenido de grasa, menor al 5 %, lo que según indica la FDA (2013), clasifica como un alimento bajo en grasa.

Diferentes compuestos bioactivos que poseen los hongos del género *Pleurotus*, tales como polisacáridos, péptidos, terpenos, entre otros, se les atribuyen una amplia variedad de efectos y actividades como anticancerígena, antihipertensiva, antiinflamatoria, antimicrobiana, antioxidante, antiviral, inmunomoduladora, citoprotectora, entre otros. Sin embargo, son pocos los estudios que demuestren estos efectos bioactivos de los hongos. Por otro lado, también se ha estudiado el uso de harina de *Pleurotus* como ingrediente de la alimentación animal para estudiar su capacidad para disminuir los niveles de glucosa, hemoglobina glicada, colesterol y triglicéridos en la sangre de ratones (Carrasco-González et al., 2017).

Los hongos ostra también han demostrado poseer diversas actividades biológicas beneficiosas para la salud humana. Estas incluyen propiedades antioxidantes, así como actividades antimicrobianas contra una amplia gama de patógenos. Además, se han documentado efectos inmunomoduladores y antitumorales en estudios preclínicos, lo que sugiere su potencial en la prevención y el tratamiento de enfermedades crónicas. Estudios demostraron el potencial de hongos del género *Pleurotus* para inhibir significativamente el crecimiento de células de cáncer de mama y tumores en ratón (Xue et al., 2015) y efecto antitumoral in vivo (W. Wang et al., 2014).

Otro estudio demostró que el hongo *Pleurotus ostreatus* posee actividad antiinflamatoria, encontrando esta actividad significativamente mayor en hongos frescos que en hongos procesados, sugiriendo que el analito bioactivo antiinflamatorio se degrada en presencia del calor, además atribuyen este efecto a un aminoácido presente en estos hongos (Gunawardena et al., 2014).

Otra bioactividad que ha sido encontrada en los hongos *Pleurotus*, es la actividad antioxidante, que ha sido asociada con los polisacáridos presentes en los hongos. En un estudio realizado en *Pleurotus florida*, se aislaron polisacáridos en los que se encontró actividad antioxidante (Maity et al., 2011). En otro estudio realizado en

*Pleurotus djamor*, los autores encontraron valores de actividad antioxidante con el método ABTS en rango de 0,067 a 0,133 mMTE/g que variaron de acuerdo con el sustrato utilizado para el cultivo (Vega et al., 2022).

Dada su riqueza nutricional y sus actividades biológicas, los hongos ostra y sus derivados, como harinas y concentrados proteicos, tienen un gran potencial en la industria alimentaria como ingredientes funcionales en la formulación de alimentos saludables. Por ejemplo, en un estudio se elaboraron películas a base de quitosano enriquecidas con polisacáridos extraídos de hongos *Pleurotus* con el objetivo de ser utilizadas como empaques bioactivos para alimentos, mejorando la actividad antioxidante del biofilm y además presentó un efecto antibacteriano frente a *E. coli* (Liu et al., 2024), logrando un producto con potencial en la industria alimentaria en el campo de la conservación de alimentos.

En otro estudio se elaboró pasta de trigo con sustituciones parciales de harina de hongo *Pleurotus ostreatus*, encontrando que en porcentajes del 10 al 20% se consigue un producto de características sensoriales aceptables y enriquecido con proteína de alta calidad y fibra (Jamangapé Ovando et al., 2019).

A pesar del creciente interés en los hongos ostra descrito en los párrafos anteriores, aún existen brechas en el conocimiento sobre sus propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas, especialmente en lo que respecta a la evaluación de sus productos derivados, como concentrados proteicos. Se requieren estudios adicionales para comprender mejor el impacto de estos productos en la salud humana y su potencial aplicación en la industria alimentaria.

En este contexto, la presente investigación se propone evaluar las propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas en harina y concentrados proteicos de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*, con el objetivo de aportar a la literatura científica de hongos comestibles y contribuir al desarrollo de alimentos funcionales e innovadores con beneficios para la salud humana.

## 2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

### 2.2.1 Los hongos comestibles

El cuerpo fructífero del hongo es solo una parte de la totalidad del hongo que en mayor proporción está formado por el micelio que en la naturaleza suele no verse por estar entre el sustrato. Los hongos, en general, son parásitos de plantas y animales o también son saprófitos, es decir, que se alimentan de materia orgánica en descomposición. Existen hongos que causan enfermedades en plantas y animales, pero una gran cantidad de especies son inocuas y comestibles para los humanos.

El conocimiento de que varias especies de hongos son comestibles data de hace algunos cientos de años y en la actualidad numerosas especies son cultivadas con fines comerciales, siendo los más populares el shiitake (*Lentinula edodes*), el hongo ostra (*Pleurotus spp.*) y el champiñón blanco (*Agaricus bisporus*). El cultivo del hongo shiitake con fines alimenticios data en Japón hace al menos 2000 años, a diferencia del cultivo del champiñón blanco que los primeros registros de su cultivo datan en 1779 (Dhar, 2017).

Con datos hasta el año 2013, la industria de hongos comestibles está valorada en 34 mil millones de dólares aproximadamente, mientras que la industria de hongos medicinales, al mismo año, está valorada en 24 mil millones de dólares. China es el principal país productor de hongos en el mundo con alrededor del 87 % de la producción mundial y los cinco géneros más cultivados son: *Lentinula*, *Pleurotus*, *Auricularia*, *Agaricus* y *Flammulina*.

En las últimas décadas, desde los años 70 hasta el 2013, el cultivo de hongos alimenticios se ha multiplicado por 30 a pesar de que la población mundial, en el mismo rango de tiempo solo ha aumentado 1,7 veces, es decir que el consumo de hongos incrementa vertiginosamente (Royse et al., 2017).

### **2.2.2 Pleurotus spp.**

Los hongos del género *Pleurotus* representan aproximadamente el 27 % de la producción mundial de hongos (Singh & Kamal, 2017). Los hongos *Pleurotus* pertenecen a la división Basidiomycota y poseen la capacidad de degradar desechos lignocelulósicos mediante la producción y segregación de enzimas.

Es uno de los géneros con mayor cantidad de especies comestibles y de cultivo relativamente sencillo, lo que lo convierte en una fuente de proteínas asequible, debido a que se cultiva en desechos agrícolas o agroforestales, en lugares donde la proteína animal es escasa. Además de sus excelentes características nutricionales, se han realizado estudios en los que se han encontrado que estos hongos poseen actividad antioxidante, antimicrobiana, antitumorales, entre otras (Estrada & Pecchia, 2017).

### **2.2.3 Concentrados proteicos**

Los concentrados proteicos obtenidos mediante precipitación isoeléctrica son productos de alta concentración de proteína de origen animal o vegetal que aprovecha el punto isoeléctrico de las proteínas. Cuando las proteínas se encuentran en un medio acuoso, tienen una carga eléctrica neta que depende del pH del medio.

El punto isoeléctrico de una proteína es el pH en el cual la carga neta de la proteína es cero, es decir, la proteína no tiene carga y es menos soluble en agua y se precipita separándose de la solución. Para hacer más eficiente la precipitación de las proteínas primero hay que lograr que se solubilizan en el medio acuoso, esto se logra estableciendo un pH de solubilización alejado del punto isoeléctrico, por lo general en valores de pH básicos, se favorece la atracción proteína-agua (Matak et al., 2015).

Los concentrados proteicos son valorados en la industria alimentaria y de suplementos nutricionales debido a su alto contenido proteico y su bajo

contenido en otros componentes no deseados, como carbohidratos y grasas. Estos concentrados pueden ser utilizados en la formulación de alimentos y bebidas enriquecidos con proteínas, así como en la producción de suplementos nutricionales para deportistas y personas que buscan aumentar su ingesta de proteínas.

#### **2.2.4 Electroforesis SDS-PAGE**

La electroforesis SDS-PAGE es una técnica ampliamente utilizada en la investigación en biología molecular que permita la separación o purificación de proteínas de origen animal o vegetal en función de su tamaño molecular, análisis de expresión génica y diagnóstico clínico, se utiliza además para el análisis de composición y caracterización de proteínas y permite determinaciones rápidas de los pesos moleculares. Durante la electroforesis SDS-PAGE, se forman complejos de proteína con el detergente SDS y estos complejos se mueven en un campo eléctrico hacia el polo positivo. El gel de poliacrilamida es poroso y funciona como un tamiz molecular que separa los complejos de proteínas-SDS según su peso molecular (Rehm, 2006).

Debido a que la electroforesis SDS-PAGE es una de las herramientas más utilizadas en proteómica, usándose como primer paso antes de los análisis de identificación con espectrometría de masas, su aplicación a llegado al análisis de proteínas de hongos comestibles (Vega-Oliveros, 2019).

#### **2.2.5 Polifenoles**

Los polifenoles son un amplio grupo de compuestos bioactivos que tienen múltiples funciones biológicas. Están caracterizados por tener múltiples grupos fenólicos (anillos de benceno con uno o más grupos hidroxilo) en su estructura. Los polifenoles se encuentran en una variedad de alimentos, como frutas, verduras, té, vino tinto, chocolate y frutos secos, entre otros. ofrecen una serie de beneficios para la salud humana (Watson et al., 2013). Su consumo regular

como parte de una dieta equilibrada puede contribuir a la prevención de enfermedades y al mantenimiento de un buen estado de salud debido a que poseen un alto potencial para eliminar los radicales libres, característica que confiere a los polifenoles diferentes bioactividades como la antioxidante, antiinflamatoria, anticancerígena, entre otras (de Carvalho et al., 2020; Yuan et al., 2023).

Se han realizado estudios en hongos del género *Pleurotus* para extraer polifenoles mediante fluidos supercríticos (Bhattacharya et al., 2014), con disolventes, mediante extracción asistida por ultrasonido, microondas, extracción enzimática encontrando diversos compuestos fitoquímicos en los cuerpos fructíferos de los hongos (Zhao et al., 2024b).

## **2.2.6 Actividades biológicas en hongos**

Diversos estudios han encontrado varios compuestos presentes en los hongos que presentan actividades biológicas tales como péptidos, enzimas, polisacáridos, polifenoles, terpenos, alcaloides que presentan actividades con efectos: antitumorales, hepatoprotectores, antioxidantes, antivirales, antiinflamatorios, hipoglucemiantes, inmunomoduladores, hipolipidémicos, entre otros.

Los hongos son ricos en proteínas, incluso en mayor cantidad que los vegetales, lo que los convierte en una buena fuente de péptidos bioactivos y además poseen todos los aminoácidos esenciales (Zhou et al., 2020).

A demás los hongos son ricos en  $\beta$ -glucanos y otros polisacáridos, en los que se ha investigado efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antitumorales, citotóxicos, entre otros. Algunos de estos polisacáridos actúan en los mamíferos como estimulantes del sistema inmune en contra de las infecciones y tumores.(Tel-Çayan et al., 2020).

### 2.2.7 Actividad antioxidante

Los compuestos químicos con propiedades antioxidantes tienen la capacidad de neutralizar radicales libres o especies reactivas, que son causantes de diversas enfermedades. En los hongos, los analitos que poseen esta propiedad antioxidante son los polisacáridos y los péptidos bioactivos. Sin embargo, se han realizado estudios en los que se ha evaluado la actividad antioxidante en hongos tratados con calor y con liofilización y se demostró que los hongos liofilizados poseen mayor actividad antioxidante, debido a que los analitos que poseen esta propiedad son sensibles a temperaturas altas.

Existe una relación inversa entre el consumo de antioxidantes procedentes de fuentes alimenticias y el riesgo de padecer enfermedades, además estos antioxidantes de origen natural no poseen efectos secundarios en el organismo, a esto se debe el creciente interés en los alimentos ricos en antioxidantes. Estudios han confirmado que los hongos son ricos en metabolitos antioxidantes, y su corto tiempo de producción en comparación con lo vegetales los convierte en potentes alimentos como fuentes de antioxidantes. Mayormente se han estudiado los polisacáridos y en menor medida el contenido proteico bioactivo (Zhou et al., 2020).

### 2.2.8 Actividad antiinflamatoria

Existen escasos estudios sobre actividad antiinflamatoria en hongos, sin embargo, en un estudio realizado en el año 2012 se encontró actividad antiinflamatoria en los hongos comestibles *A. bisporus*, *C. cibarius* y *L. deliciosus*, sugiriendo un uso potencial como alimento funcional antiinflamatorio (Moro et al., 2012).

En otro estudio realizado en el año 2015, se encontró actividad antiinflamatoria en hongos comestibles de las especies *P. ostreatus*, *M. procera*, *B. impolitus*, *A. bisporus*, en el estudio se atribuye la actividad antiinflamatoria al ácido cinámico, que se encontró en mayor concentración en los hongos mencionados.

### 2.2.9 Propiedades funcionales de las proteínas

Las propiedades funcionales de las proteínas son importantes para la aplicación del producto como ingrediente en productos finales, por ejemplo, la densidad es importante en las mezclas con otros ingredientes, en el empaque y en el transporte (Thirumuruga et al., 2022).

La capacidad de retención de agua y la capacidad de retención de aceite determina el comportamiento del alimento como ingrediente para fortificar otros alimentos y el comportamiento del producto final, afectan directamente a la capacidad de retener sabores y aromas en el producto final, también en la palatabilidad y en el tiempo de vida útil del producto (Cruz-Solorio et al., 2018). Un estudio del 2021 sugiere que concentrados proteicos obtenidos a partir de *Pleurotus ostreatus* tienen potencial como un buen ingrediente para incorporar en alimentos y mejorar su calidad funcional y nutricional (González et al., 2021).

## CAPÍTULO III: Diseño metodológico

### 3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación adopta un enfoque exploratorio para comprender las propiedades funcionales, nutricionales y actividades biológicas presentes en las harinas y concentrados proteicos de hongo ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*). Inicialmente, se lleva a cabo una fase exploratoria para identificar y describir estas propiedades, considerando aspectos como la capacidad de absorción de agua y aceite, la solubilidad, el contenido nutricional y la actividad antioxidante y antiinflamatoria.

Posteriormente, se implementa un diseño experimental para evaluar de manera más específica la influencia de variables como el método de procesamiento y la variedad de hongo en las propiedades funcionales y nutricionales de las harinas y concentrados proteicos de los hongos mencionados. Esta aproximación permitirá no solo describir las características, sino también establecer relaciones de causa y efecto, brindando una comprensión más profunda y aplicable a la optimización de procesos y aplicaciones alimentarias.

Se realizó un diseño factorial a x b, con el siguiente modelo estadístico de efectos:

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

## **3.2 La población y la muestra**

### **3.2.1 Características de la población**

La población objetivo de este estudio se compone de hongos del género *Pleurotus*, específicamente las especies: hongo ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*).

### **3.2.2 Delimitación de la población**

La población específica para esta investigación se limitó a cepas comerciales de hongo ostra rosado (*Pleurotus djamor*) y hongo ostra gris (*Pleurotus ostreatus*), adquiridas a la empresa Intiwasi, ubicada en la parroquia de Tumbaco en la ciudad de Quito, Ecuador.

### **3.2.3 Tipo de muestra**

La muestra para este estudio consistió en cuerpos fructíferos de hongos *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*. Se seleccionó hongos en condiciones óptimas de frescura y calidad, asegurando que representen de manera adecuada las variedades ostra rosado y ostra gris.

### **3.2.4 Tamaño de la muestra**

La cantidad específica de hongos se determinó considerando la sumatoria de las cantidades necesarias para realizar cada análisis por triplicado para abordar los objetivos de la investigación.

### **3.2.5 Proceso de selección de la muestra**

Los hongos *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* se seleccionaron de diferentes lotes de producción con el objetivo de abarcar diversos períodos

de cosecha. Se procurará una muestra representativa que refleje la variabilidad natural en términos de tamaño y color.

### **3.3 Los métodos y las técnicas**

#### **3.3.1 Obtención de la harina**

Los hongos frescos fueron liofilizados en un liofilizador Christ durante 72 horas a - 54 °C. Posteriormente fueron molidos en un molino ciclón Retsch hasta una granulometría final de 250 µm. Las muestras molidas fueron desengrasadas mediante el método Soxhlet y almacenadas en frascos de muestras a -20 °C hasta su uso.

#### **3.3.2 Obtención de los concentrados proteicos**

A partir de la harina se obtuvieron los concentrados proteicos mediante el método de precipitación isoeléctrica, siguiendo el protocolo de Vilcacundo et al. (2020). Se disolvieron 10 gramos de harina previamente desengrasada en 200 mL de agua desionizada. Posteriormente se solubilizó a pH 12,0 con NaOH 2,0 M y se mantuvo en agitación durante 30 minutos, se centrifugó a 4 °C durante 30 minutos y se colectó el sobrenadante. El sobrenadante se ajustó a pH de precipitación de 4.0 con HCl 1 N y se mantuvo durante 30 minutos en agitación, nuevamente se centrifugó durante 30 minutos a 4 °C y se colectó el precipitado. Se liofilizó durante 96 horas y se almacenó a - 80 °C para posteriores análisis.

#### **3.3.3 Análisis proximal**

Los análisis de humedad, cenizas, fibra y grasa se realizaron siguiendo los protocolos AOAC (2020). El contenido de proteínas se analizó mediante el método Dumas, utilizando un factor de conversión de 6,25 (Thirumuruga Ponbhagavathi et al., 2022) y el contenido de carbohidratos se calculó por diferencia.

### 3.3.4 Cuantificación de proteína

#### Método Dumas

Se realizó en un analizador elemental que se basa en el método Dumas, siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante para este fin. Se pesaron 50 mg de las muestras de harina o concentrado proteico liofilizado y se introdujeron en el carrusel de muestras del analizador elemental.

El factor de proteína (fp) usado fue 6,25 ( $\%N \times fp = \% \text{ proteína}$ ).

Este método consiste en la combustión a 1030 °C, aproximadamente, de una muestra de masa conocida, para obtener compuestos elementales, después de la combustión el agua es removida, primero, mediante una trampa física y después por una química. Entre estas dos trampas los analitos pasan por un horno de reducción y el nitrógeno es detectado mediante un detector de conductividad térmica. El porcentaje de nitrógeno es presentado por el software del equipo.

#### Método BCA

La cuantificación de proteína de la harina y de los aislados proteicos se determinó también mediante el método BCA, empleando un kit de ensayo de la marca Thermo Scientific™ Pierce™. Para la reacción se mezclaron 50 µL de muestra y 1000 µL de solución BCA, las muestras se incubaron a 37 °C durante 30 minutos en oscuridad. La absorbancia fue medida en un espectrofotómetro NanoDrop One a una longitud de onda de 562 nm y los resultados fueron expresados en mg proteína/g muestra (Krieg et al., 2005).

### 3.3.5 Electroforesis SDS-PAGE

Los concentrados proteicos y sus hidrolizados fueron analizados mediante el uso de electroforesis SDS-PAGE, realizada en un equipo BioRad Mini – PROTEAN® Tetra System. Según las instrucciones de Bio-Rad

Laboratories basado en el método de Laemmli (1970), con gel de apilamiento al 4 % de poliacrilamida y gel de resolución al 12 % de poliacrilamida a 200 V durante 30 minutos. Posterior a la electroforesis los geles se tiñeron con azul de Coomasie G-250 durante 4 horas y desteñidos con solución metanol – agua desionizada - ácido acético en proporción 50:45:5. El gel se fotografió en un fotodocumentador GelTower de AnlytikJena. Se utilizó un estándar de proteínas Precision Plus Protein Dual Xtra Standards de Bio-Rad.

### **3.3.6 Preparación de extractos**

Se siguió la metodología de Quinteros et al. (2022). Para la preparación de extractos que se usaron en posteriores análisis. Se pesaron 200 mg de concentrado proteico de hongo o harina y se disolvió con 5 mL de una solución metanol: agua en proporción 70:30. Esta solución se mantuvo en agitación magnética a 1000 rpm durante 10 minutos y se sometió a ultrasonido en un baño ultrasónico Elmasonic a 37 kHz durante 10 minutos y finalmente se centrifugo a 5000 rpm a 4 °C durante 10 minutos. El sobrenadante se recolectó en un balón de aforo ámbar de 25 mL. Este procedimiento se repitió 5 veces y se aforaron los balones con la solución metanólica al 70%. Los extractos fueron mantenidos en refrigeración hasta su uso por no más de 24 horas.

### **3.3.7 Cuantificación de polifenoles totales**

Para el análisis de polifenoles totales se realizó según el método Folin-Ciocalteu, siguiendo la metodología propuesta por Vilcacundo et al. (2020). Se mezclaron 100 µL del extracto preparado anteriormente con 100 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu con 2 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 7,5 % y 2,8 mL de agua desionizada. Esta solución se agitó durante 5 minutos y se incubó a 25 °C durante 60 minutos en oscuridad. Posteriormente se midió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 765 nm en un espectrofotómetro NanoDrop One. La cuantificación del contenido de polifenoles totales se

realizó con una curva de calibración de ácido gálico de 20 mg/L a 600 mg/L.  
La curva obtenida fue:

$$y = 0,0024x - 0,0003 ; R^2: 0,997$$

Donde:

y= absorbancia

x= concentración de equivalentes de ácido gálico

Los resultados de polifenoles totales se expresaron como mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de muestra (mg EAG/100g) en peso seco.

### 3.3.8 Actividad antioxidante ABTS

Se colocaron 200  $\mu$ L de muestra (extractos metanólicos de los concentrados proteicos o harina preparados previamente) y se adicionaron 3800  $\mu$ L de solución de ABTS (compuesta por solución de ABTS 7,00 mM con solución de persulfato de potasio 2,45 mM en proporción 1:1 y reposada por 16 horas antes de su uso, posteriormente diluida con buffer fosfato hasta obtener una absorbancia de  $1,1 \pm 0,01$  a 743 nm). Se agitaron los tubos con las muestras y se dejó reposar por 45 minutos en oscuridad a 25 °C. Entonces la absorbancia fue medida a una longitud de onda de 743 nm.

Para la determinación de las concentraciones se realizó una curva de calibración con Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) en concentraciones de entre 200  $\mu$ mol/L a 800  $\mu$ mol/L.

La curva obtenida fue:

$$y = 0,0012x + 0,0382 ; R^2: 0,998$$

Donde:

y= Absorbancia de los extractos

x= Concentración de Trolox

Los datos se expresaron como  $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox TE/g de muestra, peso seco.

### 3.3.9 Actividad antioxidante FRAP

Se preparó la solución FRAP de la siguiente manera, se colocaron 50 mL de tampón acetato de sodio 300 mM a pH 3,60 con 5 mL de TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine) 10 mM y 5 mL de cloruro férrico hexahidratado 20 mM. De esta solución se tomaron 1800  $\mu\text{L}$  y se mezclaron con 180  $\mu\text{L}$  de agua desionizada y 60  $\mu\text{L}$  de muestra (extractos metanólicos de los concentrados proteicos o harina preparados previamente). Esta mezcla se incubó en oscuridad a 37 °C durante 30 minutos y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm.

Para la determinación de las concentraciones se realizó una curva de calibración con Trolox en concentraciones de 100  $\mu\text{mol/L}$  a 700  $\mu\text{mol/L}$ . La curva obtenida fue:

$$y = 0,0013x - 0,0543 ; R^2: 0,998$$

Los datos se expresaron como  $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox TE/g de muestra (Quinteros et al., 2022).

### 3.3.10 Actividad antioxidante DPPH

Se preparó una solución de DPPH 0,06 mM en metanol. Se colocó 50  $\mu\text{L}$  de extracto en un tubo de microcentrífuga con 1950  $\mu\text{L}$  de solución de DPPH, las muestras fueron agitadas en vórtex y se dejó reposar durante 30 minutos en oscuridad a 25 °C, posteriormente se determinó la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 517 nm. La curva estándar de Trolox se preparó en un rango de concentración de 200  $\mu\text{mol/L}$  a 800  $\mu\text{mol/L}$ .

La curva obtenida fue la siguiente:

$$y = 0,0006x + 0,0023 ; R^2: 0,997$$

Los resultados se expresaron como  $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox TE/g de muestra (Piñuel et al., 2019).

### 3.3.11 Actividad antiinflamatoria *in vitro*, método del potencial de estabilización de la membrana

Se siguió el protocolo descrito por Bouhlali et al. (2016). Se preparó una solución de Alsever con ácido cítrico al 0,05 %, cloruro de sodio al 0,42 %, citrato de sodio al 0,80 % y dextrosa al 2 % en agua desionizada. La solución de Alsever, se mezcló en proporción 1:1 con la sangre extraída de voluntarios sanos que no utilizaron ningún medicamento antiinflamatorio durante por lo menos quince días antes de la recolección de la sangre. Esta solución fue centrifugada a 3000 rpm por 30 min a 4 °C. Se descartó el sobrenadante y el sedimento se lavó con solución salina al 0,9 %, con este sedimento celular se preparó una suspensión al 10 %. Para la reacción se usó 1 ml de tampón fosfato, 1 ml de extracto de muestra, 0,5 ml de la suspensión celular de sangre al 10 % y 2,0 ml de solución salina hipotónica al 0,36 %. Esta mezcla fue incubada durante 25 minutos a 37 °C y finalmente se centrifugó a 12000 rpm por 5 min y se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 560 nm.

Los resultados se expresaron como porcentaje de protección (%P) y se calcularon con la siguiente ecuación:

$$\%P = 100 - \left( \frac{\text{Absorbancia de la muestra}}{\text{Absorbancia del control}} * 100 \right)$$

### 3.3.12 Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales evaluadas en los concentrados proteicos y en la harina de las muestras fueron la solubilidad (Quinteros et al., 2022) y

densidad, capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite siguiendo la metodología propuesta por (Thirumuruga Ponbhagavathi et al., 2022).

### **3.3.13 Densidad aparente**

Se colocó una muestra de 20 g de harina o concentrado proteico en una probeta de 100 mL. La probeta se golpeó diez veces contra la superficie de trabajo y se registró el volumen final para calcular la densidad aparente en  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

### **3.3.14 Solubilidad**

Se prepararon suspensiones de muestra en agua desionizada a una concentración de 5 mg/mL y se ajustó el pH de las soluciones a 3, 6, 9 y 12, con NaOH 2N y HCl 2N. Las suspensiones se agitaron durante 1 h y fueron centrifugadas a 10000 rpm durante 10 minutos. Finalmente, se realizó la cuantificación de proteína soluble mediante el método BCA (ácido bicinonínico), con la ayuda de un espectrofotómetro UV/VIS.

### **3.3.15 Capacidad de absorción de agua**

Se colocaron 2 g muestra en tubos de centrífuga y se añadieron 20 mL de agua desionizada, estas soluciones se homogeneizaron en un vórtex por 30 segundos, cada 10 min durante 50 minutos, posteriormente, las muestras se centrifugaron a 4000 g por 20 min. Se drenó el sobrenadante invirtiendo los tubos durante 10 minutos y se pesó el precipitado. La capacidad de absorción de agua se expresó como porcentaje de agua absorbido por gramo de muestra.

### **3.3.16 Capacidad de absorción de aceite**

Se pesaron dos gramos de harina o concentrado proteico y se colocaron en tubos de centrifuga a los que se añadieron 10 mL de aceite de coco. Se mezcló la suspensión con un agitador vórtex y se dejó reposar las muestras durante 30 minutos para permitir la absorción del aceite por parte de la harina o el concentrado proteico. Posteriormente, se centrifugaron las muestras durante 30 minutos a 4000 g para separar el aceite que no fue absorbido por la muestra y se decantó invirtiendo los tubos, finalmente se pesa la muestra con el aceite absorbido. Se calculó la cantidad de aceite absorbido por gramo de muestra.

## **3.4 Procesamiento estadístico de la información**

Los análisis estadísticos se realizaron en el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI. Los resultados se expresan como el promedio de 3 determinaciones y su desviación estándar. Se evaluó si existen diferencias significativas mediante un análisis de varianza y la prueba de Tukey al 95 % de confianza.

## CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

### 4.1 Análisis de los resultados

#### 4.1.1 Análisis proximal

El análisis proximal de los concentrados proteicos y de la harina de los hongos se muestran en la Tabla 7, el valor más alto de carbohidratos presentado fue en el hongo ostra gris con 45,62 % y el más bajo en el concentrado proteico del hongo ostra rosado con 16,76 %. En cuanto a fibra el valor más alto fue para el hongo ostra rosado con 15,04 % y el más bajo para el concentrado proteico del hongo ostra gris con 3,40 %. Los hongos ostra son conocidos también por su bajo contenido en grasa, en este análisis el que menor contenido de grasa presentó fu el hongo ostra rosado con 1,02 % de grasa.

**Tabla 7** Análisis proximal de harina y concentrados proteicos de hongos

Muestra	Humedad %	Grasa %	Carbohidratos %	Fibra %	Cenizas%
HR	7,98 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,02 ± 0,00 <sup>ab</sup>	37,64 ± 0,35 <sup>a</sup>	15,04 ± 0,06 <sup>a</sup>	6,49 ± 0,01 <sup>a</sup>
HG	7,67 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,81 ± 0,43 <sup>b</sup>	45,62 ± 0,33 <sup>b</sup>	7,61 ± 0,06 <sup>ab</sup>	6,60 ± 0,14 <sup>a</sup>
PR	6,41 ± 0,32 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,00 <sup>c</sup>	16,76 ± 0,28 <sup>c</sup>	5,57 ± 0,02 <sup>ab</sup>	6,06 ± 0,12 <sup>a</sup>
PG	7,90 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,61 ± 0,01 <sup>c</sup>	20,09 ± 0,23 <sup>c</sup>	3,40 ± 0,04 <sup>b</sup>	5,92 ± 0,42 <sup>a</sup>

*Nota.* Las medias con letras diferentes dentro de la columna son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). Los valores representan la media de tres determinaciones ± la desviación estándar.

#### 4.1.2 Cuantificación de proteína

Se realizaron análisis de cuantificación de proteína mediante los métodos BCA y Dumas. Las dos metodologías son técnicas ampliamente utilizadas en la cuantificación de proteínas, considerando que en cada una podrían existir ciertas desventajas o limitaciones. En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos en ambos métodos, encontrando que la muestra con mayor contenido de proteína fue el concentrado proteico de hongo ostra rosado con un valor de 64,83 % de proteína en el método Dumas y coincide que es la muestra con mayor contenido proteico con el ensayo BCA con un valor de

13,23 %, con diferencia significativa con el concentrado proteico de hongo ostra gris. En cuanto a la harina de los hongos ostra, no presentaron diferencias significativas en el contenido proteico en ninguno de los métodos analizados, obteniendo valores aproximados al 30 %. Es decir que en los concentrados proteicos se logró concentrar la proteína al doble del contenido original.

**Tabla 8** *Cuantificación de proteína*

<b>Muestra</b>	<b>BCA</b>	<b>Dumas</b>
HG	6,62 ± 0,46 <sup>a</sup>	31,83 ± 1,05 <sup>a</sup>
HR	7,17 ± 0,15 <sup>a</sup>	30,69 ± 0,31 <sup>a</sup>
PR	13,23 ± 0,80 <sup>b</sup>	64,83 ± 0,60 <sup>b</sup>
PG	11,65 ± 0,50 <sup>c</sup>	62,08 ± 0,20 <sup>c</sup>

*Nota.* Las medias con letras diferentes dentro de la columna son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). Los valores representan la media de tres determinaciones ± la desviación estándar.

#### 4.1.3 Electroforesis SDS-PAGE

El perfil de proteínas fue analizado mediante SDS-PAGE, que se muestra en la Figura 1, en la columna A se muestra el estándar de pesos moleculares conocidos en un rango de 10 kDa a 250 kDa. En la columna B se observan las proteínas correspondientes a la harina de hongo ostra gris, las bandas tenues de proteínas están presentes en todo el rango de pesos moleculares.

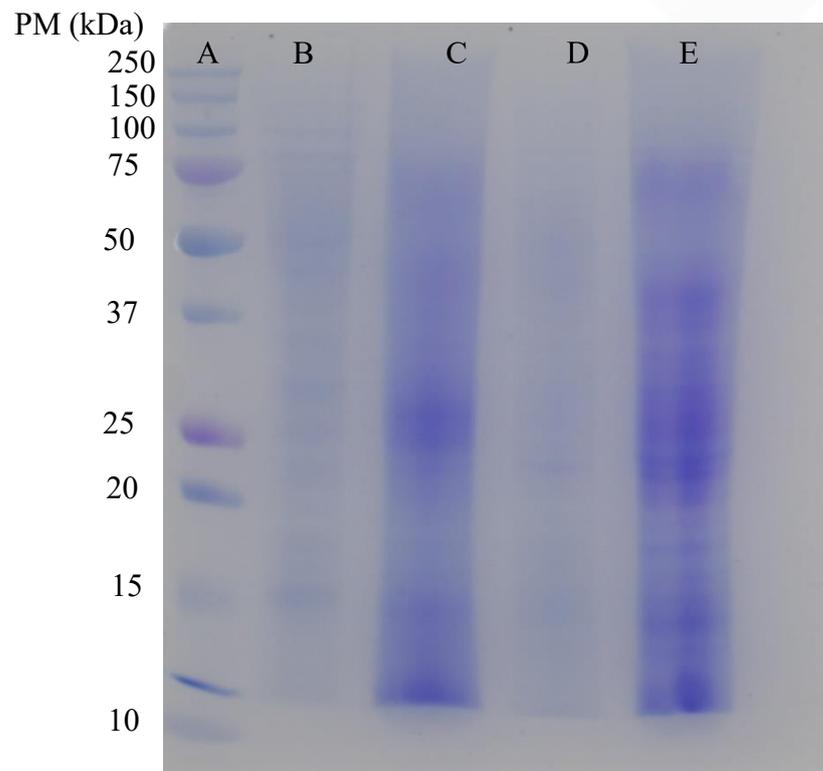
En la columna C se pueden observar las proteínas correspondientes al concentrado proteico de hongo ostra gris, con coloración más intensa principalmente con pesos moleculares alrededor de los 25 y 28 kDa y se observa también una banda clara con un peso molecular de 13 kDa.

En la columna D se muestran las proteínas encontradas en la harina de hongo ostra rosado, y al igual que en la harina del hongo ostra gris se pueden observar bandas leves en todo el rango de pesos moleculares.

En la columna E se muestran las proteínas del concentrado proteico del hongo ostra rosado y se observa la presencia de más bandas con coloración intensa

que en el concentrado de hongo ostra gris, indicando la presencia de mayor cantidad de contenido proteico.

**Figura 1** Electroforesis SDS-PAGE de harina y concentrados proteicos de hongos



*Nota.* La columna A corresponde al estándar de pesos moleculares en un rango de 10 a 250 kDa. La columna B corresponde a la harina del hongo ostra gris. La columna C al concentrado proteico del hongo ostra gris. La columna D al hongo ostra rosado y la columna E, al concentrado proteico del hongo ostra rosado.

#### 4.1.4 Polifenoles totales

Se analizaron los polifenoles totales mediante el método de Folin-Cicalteu en los concentrados proteicos y harinas de hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor* liofilizados, extraídos con solventes metanólicos. Los resultados se muestran en la Tabla 9 y la muestra que mayor contenido de polifenoles totales presentó fue el concentrado proteico de hongo ostra gris con 407,60 mg EAG por 100 g de muestra, presentando diferencias significativas

con las harinas de los hongos, pero no con el concentrado proteico de hongo ostra rosado.

**Tabla 9 Polifenoles totales**

Muestra	mg EAG/100 g
HG	254,40 ± 0,37 <sup>a</sup>
HR	228,24 ± 0,43 <sup>a</sup>
PR	389,76 ± 0,47 <sup>b</sup>
PG	407,60 ± 0,47 <sup>b</sup>

*Nota.* Las medias con letras diferentes dentro de la columna son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). Los valores representan la media de tres determinaciones ± la desviación estándar.

#### 4.1.5 Actividad antioxidante

La Tabla 10 muestra los valores obtenidos para la actividad antioxidante determinada por los métodos ABTS, DPPH y FRAP los resultados obtenidos se encuentran entre 54 µmol ET/g y 76,52 µmol ET/g para ABTS, entre 23,82 µmol ET/g y 30,25 µmol ET/g para DPPH, y entre 11,17 µmol ET/g y 27,59 µmol ET/g para FRAP, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre las muestras evaluadas. Coincidiendo en los tres análisis realizados que la muestra con mayor capacidad antioxidante es la harina de hongo ostra gris, presentando diferencias significativas con respecto a las demás muestras evaluadas.

**Tabla 10 Actividad antioxidante**

Muestras	ABTS (µmol ET/g)	DPPH (µmol ET/g)	FRAP (µmol ET/g)
HG	76,52 ± 0,77 <sup>a</sup>	30,25 ± 0,42 <sup>a</sup>	27,59 ± 1,50
HR	66,87 ± 1,95 <sup>b</sup>	23,90 ± 0,98 <sup>b</sup>	19,65 ± 1,52
PR	55,65 ± 1,85 <sup>c</sup>	25,11 ± 1,53 <sup>b</sup>	11,17 ± 0,98
PG	54,33 ± 2,28 <sup>c</sup>	25,82 ± 2,55 <sup>b</sup>	12,46 ± 0,56

*Nota.* Las medias con letras diferentes dentro de la columna son significativamente diferentes. Los valores representan la media de tres determinaciones ± la desviación estándar y analizados mediante ANOVA y prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 4.1.6 Actividad antiinflamatoria

Se muestran los resultados de la actividad antiinflamatoria en la Tabla 11, los valores del porcentaje de protección de la membrana de las muestras se encuentran entre 7,69 % y 12,15 % y del diclofenaco, como antiinflamatorio de comparación, de 87,9 %. La muestra que mayor capacidad antiinflamatoria presentó fue el concentrado proteico de hongo ostra rosado. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras analizadas y el diclofenaco.

**Tabla 11** *Actividad antiinflamatoria*

Muestras	% Protección
HG	7,69 ± 0,00 <sup>a</sup>
HR	9,72 ± 0,70 <sup>ab</sup>
PG	11,34 ± 1,21 <sup>b</sup>
PR	12,15 ± 1,40 <sup>b</sup>
DF	87,90 ± 1,21 <sup>c</sup>

*Nota.* Las medias con letras diferentes dentro de la columna son significativamente diferentes. Los valores representan la media de tres determinaciones ± la desviación estándar y analizados mediante ANOVA y prueba de Tukey (P<0,05).

#### 4.1.7 Propiedades funcionales

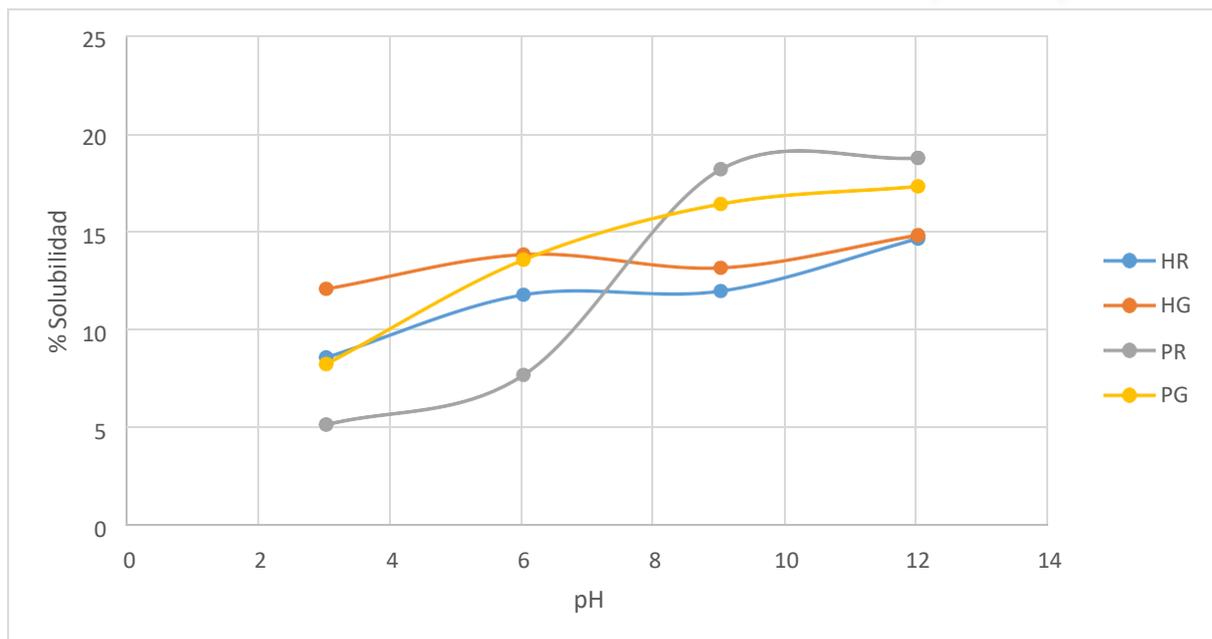
##### Solubilidad de las proteínas

Se analizó la solubilidad a diferentes pH y los resultados encontrados se muestran en la Figura 2. La tendencia generalizada de todas las muestras evaluadas fue que, a mayor pH, mayor solubilidad proteica presentaron las muestras. La solubilidad de las proteínas tiende a aumentar a valores de pH básicos debido a que se aleja del punto isoeléctrico ya que se producen repulsiones electrostáticas que favorecen la dispersión de las proteínas en el medio acuoso. La muestra que presentó mayor solubilidad fue el concentrado proteico de hongo ostra rosado a pH 12,0, seguida del concentrado proteico de hongo ostra gris y finalmente las harinas. Y coincide que también fue la

muestra que menor solubilidad presentó en pH 3,0. La solubilidad de la harina del hongo ostra gris no presentó variación significativa ya que se mantuvo en un rango entre el 10 al 15 % de solubilidad en todas las variaciones de pH evaluadas. Estas características son importantes dependiendo al uso que se le vaya a dar a la muestra como ingrediente para enriquecer otros alimentos.

## Figura 2

### *Solubilidad de la proteína*



### 4.1.8 Capacidad de retención de agua y aceite

Otras propiedades funcionales analizadas fueron la capacidad de retención de agua y capacidad de retención de aceite de las proteínas. Estas características son importantes en la industria alimenticia porque pueden afectar directamente a la palatabilidad del producto final, a la capacidad de retención de sabores y aromas, a la textura, al tiempo de conservación del alimento, entre otras.

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos para estas propiedades, encontrando que la muestra que mayor capacidad de retención de agua presentó fue la harina de hongo ostra rosado liofilizado con un valor de 53,51

% y presentó diferencias significativas con respecto a las demás muestras ensayadas. En la capacidad de retención de aceite la muestra que mayor capacidad mostró fue la harina de hongo ostra gris con un valor de 83,52 % y con diferencias significativas en comparación con las demás muestras analizadas. En el caso de la menor capacidad de retención de agua se obtuvo en el concentrado de hongo ostra gris y también fue la muestra que obtuvo el menor valor de capacidad de retención de aceites. Estas características no definen si una muestra es mala o buena, sino que de acuerdo con estas propiedades pueden ser destinadas para un uso u otro en el producto final dependiendo de las características finales que se quieran obtener de acuerdo con el interés de la industria alimenticia.

**Tabla 12** Capacidad de absorción de agua y aceite

Muestras	CAagua %	CAaceite %
HG	44,15 ± 0,83 <sup>a</sup>	83,52 ± 0,97 <sup>a</sup>
HR	53,51 ± 0,88 <sup>b</sup>	61,90 ± 0,81 <sup>b</sup>
PR	22,21 ± 0,60 <sup>c</sup>	35,01 ± 0,83 <sup>c</sup>
PG	21,58 ± 0,18 <sup>c</sup>	32,55 ± 0,20 <sup>d</sup>

*Nota.* Las medias con letras diferentes dentro de la columna son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). Los valores representan la media de tres determinaciones ± la desviación estándar.

#### 4.1.9 Densidad

Los valores obtenidos para el análisis de densidad se muestran en la Tabla 13. Se obtuvieron valores entre 0,07 g/mL a 0,25 g/mL. Siendo el valor más bajo para la harina del hongo ostra gris y el valor más alto para el concentrado proteico de hongo ostra rosado. Esta propiedad, al igual que las anteriores, no determina si una muestra es buena o mala, sino que de acuerdo con la densidad se le puede destinar a un uso determinado como ingrediente para enriquecer otros productos. La densidad influirá en características como la textura del producto final.

**Tabla 13 Densidad**

<b>Muestra</b>	<b>Densidad (g/mL)</b>
HG	0,08379059 ± 0,00
HR	0,06509669 ± 0,00
PG	0,16709342 ± 0,00
PR	0,24791319 ± 0,01

*Nota.* Las medias con letras diferentes dentro de la columna son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). Los valores representan la media de tres determinaciones  $\pm$  la desviación estándar.

## 4.2 Interpretación de los resultados

### 4.2.1 Análisis proximal de los concentrados proteicos y de la harina de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*

El contenido nutricional de los hongos comestibles es susceptible de variaciones dependiendo de diversos factores, como el sustrato utilizado para su producción, la especie de hongo, la cepa e incluso el estado de madurez (González et al., 2021). En la tabla 7 se pueden observar los resultados obtenidos para el análisis proximal de las muestras analizadas, el contenido de grasa que presentó el hongo *Pleurotus djamor* fue de  $1,02 \pm 0,00$  %, este valor es comparable con el obtenido por Vega et al. (2022) que reportaron el contenido de grasa para *Pleurotus djamor*, cultivados en diferentes formulaciones de sustratos, en un rango de 0,77 % a 2,26 %. En otro estudio (Carrasco-González et al., 2017b) reportan que el contenido de grasa para *Pleurotus djamor* varía entre 0,1 % y 4,6 %.

Por otro lado, en el presente estudio, el contenido de grasa del hongo *Pleurotus ostreatus* no presentó diferencia significativa con el *P. djamor*, con un valor de  $1,81 \pm 0,43$  %, y es muy similar con el análisis realizado por González et al. (2021) que reportó un valor de 1,9 % de grasa en peso seco. Este bajo contenido de grasa hace que estas especies de hongos comestibles sean apetecidas como alimento saludables y bajos en calorías.

No se encuentra información en la literatura respecto al contenido de grasa en concentrados proteicos de *P. djamor* y *P. ostreatus*, sin embargo, los resultados son comparables con un estudio realizado por Thirumuruga et al. (2022) en concentrados proteicos de *P. florida* y *C. indica*, que reportan un contenido de grasa de 0,91 % y 0,85 % respectivamente.

En cuanto al contenido de carbohidratos obtenido para el hongo ostra gris ( $45,62 \pm 0,33$ ) y para el concentrado proteico del hongo ostra gris ( $20,09 \pm 0,23$ ) es totalmente similar al obtenido por (González et al., 2021) que reporta valores de 50,5 % y 20,0 % para hongo y concentrado proteico de *P. ostreatus*, respectivamente.

El *P. djamor* presentó un contenido de carbohidratos de 37,64 %, encontrando un valor comparable en un estudio realizado por Carrasco-González et al. (2017b) que reportan valores de entre 35,5 % a 42,4 % para *P. djamor*, además, Vega et al. (2022) reportaron el contenido de carbohidratos en un rango entre 41,45 % a 51,06% para *P. djamor* cultivados en diferentes sustratos.

Con respecto al contenido de fibra se obtuvieron valores de 7,61 % y 15,04 % para *P. ostreatus* y *P. djamor* respectivamente, siendo estos valores comparables con los reportados por González et al., (2021) para *P. ostreatus* reportaron un valor de 5,6 % y por Vega et al. (2022) para *P. djamor*, reporta un rango de contenido de fibra de 13,32 % a 19,10 %, además menciona que el contenido de fibra se debe en gran parte al contenido de B-glucanos presentes en los hongos comestibles, que poseen efectos prebióticos entre otras actividades biológicas.

#### **4.2.2 Cuantificación de proteína**

En la tabla 8 se observa el alto contenido proteico obtenido en las muestras analizadas, encontrando un valor de 31,83 % para *P. ostreatus* y 62,08 % para su concentrado proteico. Estos valores son similares a los reportados por

González et al. (2021), 32 % para harina y 57 % para concentrado proteico de *P. ostreatus*. Sin embargo, en un estudio presentado por (Carrasco-González et al., 2017b), mencionan que el contenido de proteína en *P. ostreatus* puede oscilar entre 7,3 % y 53,3 % dependiendo del sustrato en el que sea cultivado, estos contenidos altos de proteína son comparables con el contenido proteico de la soja.

En cuanto al contenido proteico de *P. djamor*, presentó un valor de 30,60 % y 64,83 % para harina y concentrado proteico respectivamente, siendo similar al reportado por (Vega et al., 2022), que reportan el contenido proteico en un rango de 21,61 % a 27,09 % en *P. djamor* cultivados en diferentes sustratos. No se encuentra en literatura contenido proteico para concentrados de *P. djamor*, sin embargo, el resultado es comparable con el obtenido para *P. ostreatus*.

Las diferencias encontradas en el contenido proteico reportado por los dos métodos utilizados pueden deberse a la presencia de interferencias en el método BCA como agentes quelantes que pueden afectar a la formación del complejo de cobre y resultar en una subestimación del contenido de proteínas. También puede deberse a que el método BCA reacciona principalmente con enlaces con cisteína, triptófano y tirosina (Goldring, 2019). A diferencia del método Dumas, que es un método más confiable aceptado por la AOAC (AOAC, 1969).

### **4.2.3 Electroforesis SDS-PAGE**

El perfil proteico obtenido para la harina de los hongos evaluados y sus concentrados proteicos se puede observar en la Figura 1. En un estudio realizado por (González et al., 2021) en *P. ostreatus* reportan un perfil electroforético bastante similar al presentado en este estudio, con bandas cercanas a pesos moleculares de 15 kDa, 25 kDa y 28 kDa. Los autores del estudio mencionan que las bandas con un peso molecular entre 10 y 20 kDa podrían corresponder a proteínas hidrofobinas, que son proteínas útiles en la estabilización de emulsiones. Otra proteína que se podría encontrar en ese

rango de peso molecular podría ser la pleurostrin, un péptido con propiedades antifúngicas (Alves et al., 2013). Otras proteínas que pueden estar presentes en el rango 8 a 18 kDa podrían ser las ribonucleasas, que han sido estudiadas por su uso en terapias contra el cáncer (Erjavec et al., 2012).

No se encontraron referencias sobre electroforesis en *P. djamor*, sin embargo, se puede observar en la figura 1 que presenta, además de las mismas proteínas que el *P. ostreatus*, más bandas en todo el rango de pesos moleculares desde 12 kDa a 75 kDa, siendo una muestra potencial para investigar péptidos bioactivos.

#### 4.2.4 Polifenoles totales

En la tabla se presentan los resultados obtenidos para el contenido de polifenoles totales en las muestras evaluadas. Para el *P. djamor* se obtuvo un valor de 2,28 mg GAE/g, similar a los resultados reportados por (Vega et al., 2022) que oscilaron entre 1,74 a 3,03 mg GAE/g. reiterando que tanto el contenido nutricional como las propiedades biológicas pueden variar de acuerdo con el sustrato que se utilice para el cultivo de los hongos.

En un estudio realizado por Bhattacharya et al. (2014) se encontraron resultados de contenido de polifenoles totales en *P. ostreatus* de entre 2,10 mg GAE/g a 5,66 mg GAE/g que son comparables con los obtenidos en el presente estudio para *P. ostreatus* de 2,54 mg GAE/g de muestra. Las variaciones presentes en el estudio citado se deben a que evaluaron diferentes parámetros en la extracción mediante fluidos supercríticos.

No se reporta en literatura cuantificaciones de polifenoles totales realizadas en concentrados proteicos de hongos del género *Pleurotus*, sin embargo (Zhao et al., 2024b) mencionan que se han encontrado compuestos fenólicos, como ácido gálico, cafeico, ferúlico, quercetina, entre otros, en hidrolizados de proteínas de *P. ostreatus*.

#### 4.2.5 Actividad antioxidante

Los resultados de la actividad antioxidante evaluado por los métodos ABTS, DPPH y FRAP se muestran en la Tabla 10, y se expresan en  $\mu\text{mol}$  de TROLOX por gramo de muestra en base seca.

Los resultados de las tres metodologías realizadas coinciden en que la muestra que presenta mayor capacidad antioxidante fue la harina de *P. ostreatus*, seguido de harina de *P. djamor* y finalmente sin diferencia significativa los concentrados proteicos.

En un estudio realizado en *P. djamor* se encontraron valores de ABTS de entre 67 a 133  $\mu\text{mol ET/g}$  cultivados en varios sustratos, coincidiendo con el valor obtenido en el presente estudio de 66,87  $\mu\text{mol ET/g}$  para *P. djamor*.

Los valores encontrados en este estudio fueron mayores a los reportados por (Islam et al., 2016) para *Pleurotus citrinopileatus*, en el que obtuvieron 11,70  $\mu\text{mol ET/g}$  para ABTS, 4,81  $\mu\text{mol ET/g}$  para DPPH y 0,54  $\mu\text{mol ET/g}$  para FRAP.

Los concentrados proteicos presentaron menor actividad antioxidante debido a que en los hongos comestibles, la actividad ha sido asociada con los polisacáridos (Carrasco-González et al., 2017b). Y se atribuiría la actividad que presentan, a los péptidos bioactivos.

Las diferencias de actividad antioxidante entre métodos pueden deberse a que, según (González et al., 2021), el método ABTS estaría principalmente asociado con el contenido de fenoles y flavonoides mientras que el DPPH indica la presencia de antioxidantes hidrofílicos.

Finalmente, Venkata Krishna et al. (2023), mencionan que la ingesta de antioxidantes reduciría el riesgo de padecer enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo.

#### 4.2.6 Actividad antiinflamatoria

Se analizó la actividad antiinflamatoria con un método in vitro denominado método de estabilización de la membrana y se comparó con diclofenaco,

antiinflamatorio no esteroideo, como referencia. El valor más alto obtenido fue del concentrado proteico de *P. djamor* con 12,15 % de protección, valor relativamente bajo frente al diclofenaco que presentó un 87,90 % de protección.

No existe literatura sobre la utilización de este método en concentrados proteicos de hongos, pero existe un dato de un estudio de (Quinteros et al., 2022) en concentrados proteicos de grillos, en el que le atribuyen la capacidad antiinflamatoria a péptidos bioactivos y compuestos fenólicos provenientes de la alimentación vegetal del insecto, y otros estudios como el de (Bouhlali et al., 2016) realizado en extractos de plantas.

Existen escasos estudios en los que se menciona sobre actividad antiinflamatoria en hongos del género *Pleurotus*, por ejemplo, Acharya et al. (2017) mencionan que encontraron que *P. djamor* posee actividad analgésica, antiinflamatoria y antipirética.

#### **4.2.7 Propiedades funcionales**

Las propiedades funcionales de los alimentos son importantes en la industria porque esto determina el uso que se le dará como ingrediente. Dependiendo de las características que presenten se determina la facilidad de incorporar el ingrediente en otros alimentos y su posterior calidad. Los resultados de las propiedades funcionales de los hongos evaluados en el presente estudio se muestran en las Tablas 12 y 13 y Figura 2.

#### **Solubilidad**

González et al. (2021), mencionaron que las proteínas presentan mayor solubilidad en medios alcalinos, debido a que se rompen los enlaces de hidrógeno y se facilita la solubilidad.

La mayor solubilidad de todas las muestras evaluadas se alcanzó a pH 12, al igual que en un estudio reportado por (Cruz-Solorio et al., 2018), que analizaron harina de hongos del género *Pleurotus* y en concentrados proteicos.

En otro estudio realizado en *P. eryngii* por (Wu et al., 2023) también se obtuvieron los mismos resultados, mayor solubilización a pH 11.

La solubilidad de las proteínas es importante debido a que influye directamente en otras propiedades funcionales como la capacidad de emulsificación, formación de espuma y gelificación (Gao et al., 2024).

## **Capacidad de retención de agua y aceite**

La capacidad de retención de agua y de aceite en harinas y concentrados proteicos es importante en la industria alimenticia porque influye en la textura, la consistencia, la estabilidad y la palatabilidad de los productos alimenticios, así como en la eficiencia y los costos de producción. Es un factor clave a considerar en la formulación y el desarrollo de alimentos para satisfacer las preferencias del consumidor y garantizar la calidad del producto final.

En un estudio realizado sobre propiedades funcionales de harina y concentrados proteicos de *P. ostreatus*, se encontró la misma tendencia, las harinas presentaron mayor capacidad de retención de agua y aceite que sus concentrados proteicos, esto es debido a que el agua queda atrapada en los carbohidratos y en los concentrados proteicos, al eliminar la mayor parte de los carbohidratos se retiene menos agua o aceite. Los autores de ese estudio sugieren que esta propiedad de los hongos *Pleurotus* es ideal para utilizar como ingrediente en panadería o en productos cárnicos. Y la capacidad de retención de aceite, al igual que la de agua, estaría bien para utilizar en panes, productos cárnicos o sopas instantáneas (Cruz-Solorio et al., 2018).

## **Densidad**

En el estudio realizado por (Cruz-Solorio et al., 2018) obtuvieron la misma tendencia que en el presente estudio, las harinas obtuvieron valores menores de densidad (Tabla 13) que los concentrados proteicos, sin embargo, mencionan que podría existir una amplia variación debido a que esta propiedad va a depender del tamaño de partícula que se haya obtenido en la molienda, por el contenido de grasas y de humedad presente en la muestra en el

momento de la medición. Los valores de densidad pueden ser deseables altos o bajos dependiendo el uso que se le vaya a dar al producto final, por ejemplo, una alta densidad es necesaria si se requiere disminuir el espesor de la pasta (Padmashree et al., 1987).

## CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- Los hongos del género *Pleurotus*, específicamente *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*, son una fuente prometedora de proteínas de alta calidad, con un contenido proteico significativo en sus harinas y concentrados proteicos. Esta característica los posiciona como una alternativa viable para satisfacer la creciente demanda de proteínas en la dieta humana.
- La actividad antioxidante de los productos derivados de los hongos ostra varía entre especies y métodos de extracción, destacando la harina de *Pleurotus ostreatus* como la que presenta la mayor actividad antioxidante en los métodos evaluados. Estos resultados sugieren un potencial para la formulación de alimentos funcionales enriquecidos con antioxidantes naturales.
- La actividad antiinflamatoria in vitro del concentrado proteico de *Pleurotus djamor* sugiere un efecto antiinflamatorio beneficioso en la reducción de la inflamación celular, lo que podría tener implicaciones en la prevención y el tratamiento de enfermedades inflamatorias crónicas.
- Las propiedades funcionales de las harinas y concentrados proteicos de los hongos ostra, como la solubilidad proteica y la capacidad de absorción de agua y aceite, pueden influir en su uso en la industria alimentaria. Estas características podrían ser aprovechadas en la formulación de productos alimenticios como emulsiones, aditivos y fortificantes.

## 5.2 Recomendaciones

- Se sugiere continuar investigando las propiedades nutricionales y funcionales de los hongos *Pleurotus*, así como explorar nuevos métodos de extracción y procesamiento que puedan mejorar la eficiencia en la obtención de harinas y concentrados proteicos con características óptimas.
- Para aprovechar al máximo el potencial antioxidante de los hongos ostra, se recomienda realizar estudios adicionales para identificar, aislar y caracterizar los compuestos bioactivos responsables de esta actividad, así como investigar su estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento de los productos alimenticios.
- Es importante realizar ensayos adicionales para validar la actividad antiinflamatoria observada in vitro del concentrado proteico de *Pleurotus djamor* en modelos animales, para determinar su eficacia y seguridad en el contexto de enfermedades inflamatorias.
- Se recomienda realizar estudios de mercado y promoción para aumentar la conciencia y la aceptación de los hongos *Pleurotus* como una fuente alternativa de proteínas y antioxidantes en la dieta humana, especialmente en comunidades donde su consumo es menos común.

## Bibliografía

- Acharya, K., Khatua, S., & Ray, S. (2017). Quality assessment and antioxidant study of *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. <https://doi.org/10.7324/japs.2017.70614>
- Aida, F. M. N. A., Shuhaimi, M., Yazid, M., & Maaruf, A. G. (2009). Mushroom as a potential source of prebiotics: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(11–12), 567–575. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2009.07.007>
- Alves, M. J., Ferreira, I. C. F. R., Dias, J. F., Teixeira, V., Martins, A., & Pintado, M. (2013). A review on antifungal activity of mushroom (Basidiomycetes) extracts and isolated compounds. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 13(21), 2648–2659. <https://doi.org/10.2174/15680266113136660191>
- AOAC. (1969). *AOAC 968.06-1969, Protein (Crude) in Animal Feed. Dumas Method : AOAC Official Method*. [http://www.aocofficialmethod.org/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=2149](http://www.aocofficialmethod.org/index.php?main_page=product_info&products_id=2149)
- AOAC. (2020). *Official methods of analysis of AOAC International* (17th ed.). AOAC.
- Bhattacharya, M., Srivastav, P. P., & Mishra, H. N. (2014). Optimization of process variables for supercritical fluid extraction of ergothioneine and polyphenols from *Pleurotus ostreatus* and correlation to free-radical scavenging activity. *The Journal of Supercritical Fluids*, 95, 51–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.07.031>
- Bouhlali, E. dine T., Sellam, K., Bammou, M., Alem, C., & Filali-Zehzouti, Y. (2016). In vitro antioxidant and anti-inflammatory properties of selected moroccan medicinal plants. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(5), 156–162. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.60525>
- Bread for the World. (2022). *¿Qué causa el hambre? - Bread for the world*. <https://www.bread.org/es/que-causa-el-hambre/>
- Capítulo 5: *Población, alimentación, Nutrición y Planificación familiar*. (n.d.). <https://www.fao.org/3/W0073S/w0073s09.htm>
- Carrasco-González, J. A., Serna-Saldívar, S. O., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2017a). Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting

- bodies: Potential use as food ingredient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 58, 69–81. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2017.01.016>
- Carrasco-González, J. A., Serna-Saldívar, S. O., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2017b). Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potential use as food ingredient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 58, 69–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.016>
- Chang, S.-T., Buswell, J., & Miles, P. (1999). *Genetics and Breeding of Edible Mushrooms* (2nd ed.). Taylor & Francis. [https://books.google.com.ec/books?id=cMop6Dbni\\_kC](https://books.google.com.ec/books?id=cMop6Dbni_kC)
- Cruz-Solorio, A., Villanueva-Arce, R., Garín-Aguilar, M. E., Leal-Lara, H., & Valencia-del Toro, G. (2018). Functional properties of flours and protein concentrates of 3 strains of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Food Science and Technology*, 55(10), 3892–3901. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3312-x>
- de Carvalho, J. T. G., Da Silva Baldivia, D., de Castro, D. T. H., dos Santos, H. F., dos Santos, C. M., Oliveira, A. S., Alfredo, T. M., Vilharva, K. N., de Picoli Souza, K., & dos Santos, E. L. (2020). The immunoregulatory function of polyphenols: implications in cancer immunity. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 85, 108428. <https://doi.org/10.1016/J.JNUTBIO.2020.108428>
- del Toro, G., & Aguilar, M. (2020a). *OTRAS PROPIEDADES MEDICINALES Y FUNCIONALES DE LAS SETAS *Pleurotus* spp.* (pp. 241–257).
- del Toro, G., & Aguilar, M. (2020b). *OTRAS PROPIEDADES MEDICINALES Y FUNCIONALES DE LAS SETAS *Pleurotus* spp.* (pp. 241–257).
- Dhar, B. L. (2017). Mushrooms and Human Civilization. In *Edible and Medicinal Mushrooms* (pp. 1–4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch1>
- Erjavec, J., Kos, J., Ravnikar, M., Dreo, T., & Sabotič, J. (2012). Proteins of higher fungi – from forest to application. *Trends in Biotechnology*, 30(5), 259–273. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.01.004>
- Estrada, A. E. R., & Pecchia, J. (2017). Cultivation of *Pleurotus ostreatus*. In *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications* (pp. 339–360). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85052119158&partnerID=40&md5=00b11373d4d09e82cec7e8053c8430f6>
- FAO. (2009). *How to Feed the World in 2050*. FAO.

- FDA. (2013, January). *Guidance for industry: Food Labeling guide*. <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/guidance-industry-food-labeling-guide>
- Fontes Vieira, P. A., Gontijo, D. C., Vieira, B. C., Fontes, E. A. F., Assunção, L. S. de, Leite, J. P. V., Oliveira, M. G. de A., & Kasuya, M. C. M. (2013). Antioxidant activities, total phenolics and metal contents in *Pleurotus ostreatus* mushrooms enriched with iron, zinc or lithium. *LWT - Food Science and Technology*, *54*(2), 421–425. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2013.06.016>
- Gao, K., Rao, J., & Chen, B. (2024). Plant protein solubility: A challenge or insurmountable obstacle. *Advances in Colloid and Interface Science*, *324*, 103074. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.103074>
- Goldring, J. P. D. (2019). Measuring Protein Concentration with Absorbance, Lowry, Bradford Coomassie Blue, or the Smith Bicinchoninic Acid Assay Before Electrophoresis. In B. T. Kurien & R. H. Scofield (Eds.), *Electrophoretic Separation of Proteins: Methods and Protocols* (pp. 31–39). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8793-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8793-1_3)
- González, A., Nobre, C., Simões, L. S., Cruz, M., Loredó, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Contreras, J., Texeira, J., & Belmares, R. (2021). Evaluation of functional and nutritional potential of a protein concentrate from *Pleurotus ostreatus* mushroom. *Food Chemistry*, *346*, 128884. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128884>
- Gunawardena, D., Bennett, L., Shanmugam, K., King, K., Williams, R., Zabarás, D., Head, R., Ooi, L., Gyengesi, E., & Münch, G. (2014). Anti-inflammatory effects of five commercially available mushroom species determined in lipopolysaccharide and interferon- $\gamma$  activated murine macrophages. *Food Chemistry*, *148*, 92–96. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.10.015>
- Islam, T., Yu, X., & Xu, B. (2016). Phenolic profiles, antioxidant capacities and metal chelating ability of edible mushrooms commonly consumed in China. *LWT - Food Science and Technology*, *72*, 423–431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.005>
- Jamangapé Ovando, R. G., Palacios Pola, G., Caballero Roque, A., Zea Caloca, S. G., Meza-Gordillo, P. I., & Álvarez Gutiérrez, P. E. (2019). Evaluación proximal y sensorial de pasta fettuccinie con sustitución parcial con harina de setas

- Pleurotus ostreatus. *Espacio I+D, Innovación Más Desarrollo*, 8(19).  
<https://doi.org/10.31644/IMASD.19.2019.a07>
- Krieg, R. C., Dong, Y., Schwamborn, K., & Knuechel, R. (2005). Protein quantification and its tolerance for different interfering reagents using the BCA-method with regard to 2D SDS PAGE. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 65(1), 13–19. <https://doi.org/10.1016/J.JBBM.2005.08.005>
- La crisis alimentaria mundial exige medidas de apoyo para las personas, el libre comercio y el aumento de las cosechas locales.* (2022).  
<https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2022/09/30/global-food-crisis-demands-support-for-people-open-trade-bigger-local-harvests>
- LAEMMLI, U. K. (1970). Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature*, 227(5259), 680–685.  
<https://doi.org/10.1038/227680a0>
- Liu, T., Tang, Q., Lei, H., Zhen, X., Zheng, N., Qiu, P., Liu, L., & Zhao, J. (2024). Preparation, physicochemical and biological evaluation of chitosan Pleurotus ostreatus polysaccharides active films for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254, 127470.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127470>
- Maity, K., Kar (Mandal), E., Maity, S., Gantait, S. K., Das, D., Maiti, S., Maiti, T. K., Sikdar, S. R., & Islam, S. S. (2011). Structural characterization and study of immunoenhancing and antioxidant property of a novel polysaccharide isolated from the aqueous extract of a somatic hybrid mushroom of Pleurotus florida and Calocybe indica variety APK2. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(2), 304–310.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.12.003>
- Martínez, J. (2012). *Cultivo de Pleurotus ostreatus en el valle de El Fuerte, Sinaloa: Una alternativa de aprovechamiento de esquilmos agrícolas* [Tesis de Doctorado]. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Matak, K. E., Tahergorabi, R., & Jaczynski, J. (2015). A review: Protein isolates recovered by isoelectric solubilization/precipitation processing from muscle food by-products as a component of nutraceutical foods. *Food Research International*, 77, 697–703. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2015.05.048>
- Moro, C., Palacios, I., Lozano, M., D'Arrigo, M., Guillamón, E., Villares, A., Martínez, J. A., & García-Lafuente, A. (2012). Anti-inflammatory activity of methanolic

- extracts from edible mushrooms in LPS activated RAW 264.7 macrophages. *Food Chemistry*, 130(2), 350–355.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.049>
- Padmashree, T. S., Vijayalakshmi, L., & Puttaraj, S. (1987). Effect of traditional processing on the functional properties of cowpea (*Vigna catjang*) flour. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 24, 221–225.  
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:99924821>
- Piñuel, L., Boeri, P., Zubillaga, F., Barrio, D. A., Torreta, J., Cruz, A., Vásquez, G., Pinto, A., & Carrillo, W. (2019). Production of White, Red and Black Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd Var. Real) Protein Isolates and Its Hydrolysates in Germinated and Non-Germinated Quinoa Samples and Antioxidant Activity Evaluation. *Plants*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/plants8080257>
- Quinteros, M. F., Martínez, J., Barrionuevo, A., Rojas, M., & Carrillo, W. (2022). Functional, Antioxidant, and Anti-Inflammatory Properties of Cricket Protein Concentrate (*Gryllus assimilis*). *Biology*, 11(5).  
<https://doi.org/10.3390/biology11050776>
- Rehm, H. (2006). *Protein Biochemistry and Proteomics*. Elsevier.
- Royse, D. J., Baars, J., & Tan, Q. (2017). Current Overview of Mushroom Production in the World. In *Edible and Medicinal Mushrooms* (pp. 5–13).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>
- Salmones, D. (2017). *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Revista Mexicana de Micología*, 46, 73–85.
- Salmones, D., & Mata, G. (2015). Laccase production by *Pleurotus djamor* in agar media and during cultivation on wheat straw. *Revista Mexicana de Micología*, 42.
- 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>
- Sánchez, J., & Mata, G. (Eds.). (2012). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural* (I). Ecosur.
- Shi, Q., & Shao, W. (2003). Determination and analysis of the nutritional composition of eight edible mushrooms. *Journal of Gansu Agricultural University*, 38(3), 336–339.

- Singh, M., & Kamal, S. (2017). Genetic Aspects and Strategies for Obtaining Hybrids. In *Edible and Medicinal Mushrooms* (pp. 35–87). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch4>
- Steinfeld, H. (2008). *Informe Pecuario 2006*. Food & Agriculture Org.
- Tel-Çayan, G., Muhammad, A., Deveci, E., Duru, M. E., & Öztürk, M. (2020). Isolation, structural characterization, and biological activities of galactomannans from *Rhizopogon luteolus* and *Ganoderma adspersum* mushrooms. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2395–2403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.040>
- Thirumuruga Ponbhagavathi, T. R., Kanchana, S., Hemalatha, C., Vellaikumar, S., & Kalpana, K. (2022). FUNCTIONAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF PLEUROTUS FLORIDA AND CALOCYBE INDICA FLOUR AND PROTEIN CONCENTRATE. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 32(5), 1430–1439. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2022.5.0550>
- Thirumuruga, T., Kanchana, S., Hemalatha, C., Vellaikumar, S., & Kalpana, K. (2022). Functional and microstructural properties of *Pleurotus florida* and *Calocybe indica* flour and protein concentrate. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 32(5). <https://doi.org/10.36899/JAPS.2022.5.0550>
- Vega, A., De León, J. A., Miranda, S., & Reyes, S. M. (2022). Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*. *Cleaner Waste Systems*, 2, 100018. <https://doi.org/10.1016/J.CLWAS.2022.100018>
- Vega, A., & Franco, H. (2013). Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. *Información Tecnológica*, 24, 69–78.
- Vega-Oliveros, C. (2019). *Condiciones para el análisis de proteínas del micelio de lentinula edodes obtenido por fermentación en estado líquido*. <https://www.redalyc.org/journal/3090/309061220004/html/>
- Venkata Krishna, K., Murugan, J. M., Khan, H., Kumar, M., Veeramanikandan, V., Hatamleh, A. A., Al-Dosary, M. A., Venkatachalam, K., & Balaji, P. (2023). Exploring the therapeutic potential of edible *Pleurotus* mushroom species for oxidative stress and diabetes management. *Journal of King Saud University - Science*, 35(9), 102926. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102926>

- Vilcacundo, E., García, A., Vilcacundo, M., Morán, R., Samaniego, I., & Carrillo, W. (2020). Antioxidant Purple Corn Protein Concentrate from Germinated Andean Purple Corn Seeds. *Agronomy*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy10091282>
- Wang, M., & Zhao, R. (2023). A review on nutritional advantages of edible mushrooms and its industrialization development situation in protein meat analogues. *Journal of Future Foods*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.JFUTFO.2022.09.001>
- Wang, W., Chen, K., Liu, Q., Johnston, N., Ma, Z., Zhang, F., & Zheng, X. (2014). Suppression of Tumor Growth by *Pleurotus ferulae* Ethanol Extract through Induction of Cell Apoptosis, and Inhibition of Cell Proliferation and Migration. *PLoS ONE*, 9(7), e102673. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102673>
- Watson, R. R., Preedy, V. R., & Zibadi MD, S. (2013). *Polyphenols in human health and disease*. Academic Press.
- World Population Prospects 2022: Summary of Results Ten key messages*. (2022).
- Wu, D., Jia, X., Zheng, X., Mo, Y., Teng, J., Huang, L., & Xia, N. (2023). Physicochemical and functional properties of *Pleurotus eryngii* proteins with different molecular weight. *LWT*, 184, 115102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115102>
- Xia, F., Fan, J., Zhu, M., & Tong, H. (2011). Antioxidant effects of a water-soluble proteoglycan isolated from the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(3), 402–407. <https://doi.org/10.1016/J.JTICE.2010.08.012>
- Xue, Z., Zhai, L., Yu, W., Wang, H., Kou, X., Peng, L., & Hu, D. (2015). Antitumor and Immunomodulatory Activity of *Pleurotus eryngii* Extract. *Journal of Food Biochemistry*, 39(1), 19–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfbc.12096>
- Yuan, W., Yuan, W., Zhou, R., Lv, G., Sun, M., Zhao, Y., & Zheng, W. (2023). Production of hispidin polyphenols from medicinal mushroom *Sanghuangporus vaninii* in submerged cultures. *Chinese Herbal Medicines*, 15(4), 594–602. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chmed.2022.07.004>
- Zhao, Q., Liu, X., Cui, L., & Ma, C. (2024a). 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>

- Zhao, Q., Liu, X., Cui, L., & Ma, C. (2024b). Extraction and bioactivities of the chemical composition from *Pleurotus ostreatus*: a review. *Journal of Future Foods*, 4(2), 111–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.06.001>
- Zhou, J., Chen, M., Wu, S., Liao, X., Wang, J., Wu, Q., Zhuang, M., & Ding, Y. (2020). A review on mushroom-derived bioactive peptides: Preparation and biological activities. *Food Research International*, 134, 109230. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109230>

## Anexos

### Anexo A. Fotografías



Ejemplar de *P. djamor*



Hongo liofilizado



Molienda del hongo



Liofilización de hongos utilizados



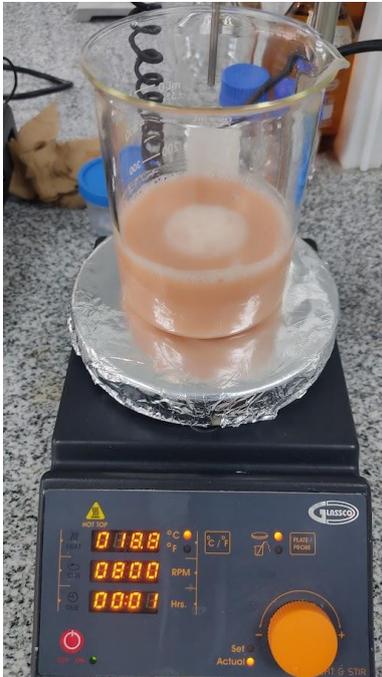
Primordios de *P. ostreatus*



Primordio de *P. djamor*



Ejemplar de *P. ostreatus*



Precipitación isoelectrica de proteínas



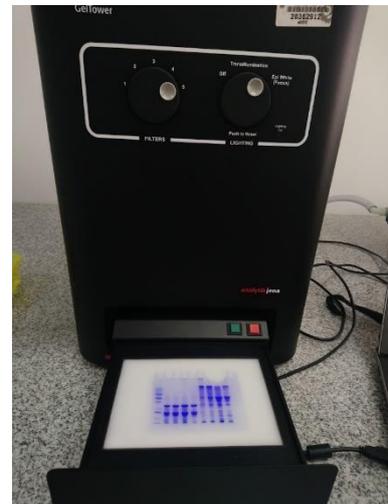
**Micelio de *P. djamor* en arroz integral**



**Liofilización de  
concentrados proteicos**



**Determinación de actividad antioxidante**



**Fotodocumentador**

**UNEMI**  
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

*¡Evolución académica!*

@UNEMIEcuador

