



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



#### TESIS

#### EFFECTO DE LA FERMENTACIÓN CON BASIDIOMICETOS EN LA PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS, AZÚCARES REDUCTORES Y FIBRA CRUDA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

PRESENTADA POR:

ALEX ERNESTO MUÑOZ CACERES

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2024

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DE LA FERMENTACIÓN CON BACTERIAS SIDIOMICETOS EN LA PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS, AZÚCARES REDUCTORES Y FI**

AUTOR

**ALEX ERNESTO MUÑOZ CACERES**

RECUENTO DE PALABRAS

**22576 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**131630 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**93 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**15.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Apr 26, 2024 9:50 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Apr 26, 2024 9:52 AM GMT-5**

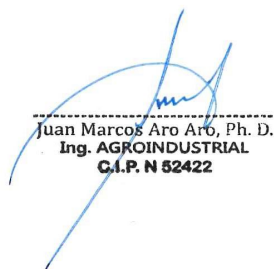
● **10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Juan Marcos Aro Aro, Ph. D.  
Ing. AGROINDUSTRIAL  
C.I.P. N 52422

Resumen



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO**  
**AMBIENTE**

**TESIS**

**EFFECTO DE LA FERMENTACIÓN CON BASIDIOMICETOS EN LA  
PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS, AZÚCARES REDUCTORES Y FIBRA  
CRUDA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS**

**PRESENTADA POR:**

**ALEX ERNESTO MUÑOZ CACERES**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE**



APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:


PRESIDENTE

  
.....  
Dr.: WENCESLAO TEDDY MEDINA ESPINOZA

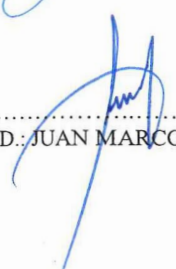
PRIMER MIEMBRO

  
.....  
Dra. MYRIAN EUGENIA PACHECO TANAKA

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
Dr. ANIBAL SUCARI LEON

ASESOR DE TESIS

  
.....  
Ph.D.: JUAN MARCOS ARO ARO

Puno, 31 de enero de 2024.

**ÁREA:** Ciencias de la ingeniería.

**TEMA:** Efecto de la fermentación con basidiomicetos en la producción de proteínas, azúcares reductores y fibra cruda a partir de residuos agrícolas.

**LÍNEA:** Recursos naturales y medio ambiente.



## DEDICATORIA

A mis padres por todas las bendiciones recibidas a lo largo de toda mi vida. A mis hermanos, en reconocimiento a su comprensión y tolerancia en mi formación personal, profesional y laboral. A mi esposa Gladys Marilú, con gratitud por estar siempre a mi lado compartiendo e incentivando mis ideales, sueños y esperanzas. A mis hijos, por ser fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así, poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

*Alex Ernesto Muñoz Cáceres.*





## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela de Posgrado, Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, en la que complemente mi formación profesional.

A los Docentes del Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente por su contribución académica a mi formación pos profesional.

Al Dr. Juan Marcos Aro Aro, por su apoyo y asesoramiento durante el desarrollo del trabajo de investigación y por compartir sus conocimientos y orientaciones en el aspecto profesional y académico.

A los miembros de mi jurado, la Dra. Tanaka, el Dr. Wenceslao Medina Espinoza y al Dr. Aníbal Sucari por sus oportunas observaciones y comentarios en el desarrollo de mi tesis.

A mis colegas de laboratorio Marilyn Juro y Justo Arias de Química General, Química orgánica y Análisis de Productos Agroindustriales.

A mis amigos del laboratorio de Biología y Microbiología, Mag. Gladys Castro Pérez y Sheirly Medina Pérez

A la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por las facilidades y su atención en el tiempo que realicé el trabajo de investigación, así como a todas las personas que contribuyeron directa e indirectamente a que este trabajo de investigación se realice.

*Alex Ernesto Muñoz Cáceres.*



## ÍNDICE GENERAL

|                   | Pág. |
|-------------------|------|
| DEDICATORIA       | i    |
| AGRADECIMIENTOS   | ii   |
| ÍNDICE GENERAL    | iii  |
| ÍNDICE DE TABLAS  | v    |
| ÍNDICE DE FIGURAS | vi   |
| ÍNDICE DE ANEXOS  | viii |
| RESUMEN           | 1    |
| ABSTRACT          | 2    |
| INTRODUCCIÓN      | 3    |

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.1   | Marco teórico   | 5  |
| 1.1.1 | Aplicaciones de la fermentación en estado sólido                      | 5  |
| 1.1.2 | Hongos lignocelulósicos de la pudrición blanca                        | 6  |
| 1.1.3 | Características generales de <i>Pleurotus ostreatus</i>               | 7  |
| 1.1.4 | Características generales de <i>Ganoderma lucidum</i>                 | 9  |
| 1.1.5 | Residuos agrícolas y su aprovechamiento                               | 10 |
| 1.1.6 | Biodegradación enzimática de residuos lignocelulósicos por los hongos | 12 |
| 1.1.7 | Características fisicoquímicas de los residuos lignocelulósicos       | 14 |
| 1.2   | Antecedentes  | 16 |
| 1.2.1 | Internacionales   | 16 |

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 2.1   | Identificación del problema | 24 |
| 2.2   | Enunciados del problema     | 25 |
| 2.2.1 | Problema general            | 25 |
| 2.2.2 | Problemas específicos       | 25 |
| 2.3   | Justificación               | 25 |
| 2.4   | Objetivos                   | 26 |
| 2.4.1 | Objetivo general            | 26 |



|                               |   |           |
|-------------------------------|---|-----------|
| 2.4.2                         | Objetivos específicos   | 27        |
| 2.5                           | Hipótesis   | 27        |
| 2.5.1                         | Hipótesis general   | 27        |
| 2.5.2                         | Hipótesis específicas   | 27        |
| <b>CAPÍTULO III</b>           |   |           |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>   |   |           |
| 3.1                           | Lugar de estudio  | 28        |
| 3.2                           | Población   | 28        |
| 3.3                           | Muestra   | 29        |
| 3.4                           | Método de investigación   | 29        |
| 3.5                           | Descripción detallada de métodos por objetivos específicos  | 29        |
| 3.5.2                         | Etapa I: Producción de micelio de <i>P. ostreatus</i> y <i>G. lucidum</i>                               | 31        |
| 3.5.2.                        | Etapa II: Métodos analíticos  | 34        |
| <b>CAPÍTULO IV</b>            |   |           |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> |   |           |
| 4.1                           | Resultados  | 36        |
| 4.1.1                         | Composición proximal de los residuos de cosecha fermentadas con micelio de <i>Pleurotus ostreatus</i> . | 36        |
| 4.1.2                         | Composición proximal de los residuos de cosecha fermentadas con micelio de <i>Ganoderma lucidum</i>     | 44        |
| <b>CONCLUSIONES</b>           |   | <b>53</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b>        |   | <b>54</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>           |   | <b>55</b> |
| <b>ANEXOS</b>                 |   | <b>74</b> |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| 1. Composición química de tallos de maíz (en base de materia seca %)   | 15          |
| 2. Resultados de análisis proximal de residuos agrícolas control y fermentadas con <i>Pleurotus ostreatus</i> .          | 37          |
| 3. Resultados del análisis proximal de residuos agrícolas control y fermentados con <i>G. lucidum</i>                    | 46          |
| 4. Análisis de Varianza del contenido de proteínas en muestras fermentadas con <i>P. ostreatus</i> (g/100g bs).          | 76          |
| 5. Análisis de Varianza del contenido de azúcares reductores en muestras fermentadas con <i>P. ostreatus</i> (g/100g bs) | 76          |
| 6. Análisis de Varianza del contenido de fibra cruda en muestras fermentadas de <i>P. ostreatus</i> (g/100g bs)          | 77          |
| 7. Análisis de Varianza del contenido de proteína en muestras fermentadas de <i>G. lucidum</i> (g/100g bs)               | 77          |
| 8. Análisis de Varianza del contenido de Azúcares reductores en muestras fermentadas de <i>G. lucidum</i> (g/100g bs)    | 78          |
| 9. Análisis de Varianza del contenido de fibra cruda en muestras fermentadas de <i>G. lucidum</i> (g/100g bs)            | 78          |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| 1. Cuerpo fructífero del hongo <i>Pleurotus ostretus</i>   | 9           |
| 2. Cuerpo fructífero o basidiocarpo de <i>Ganoderma lucidum</i>  | 10          |
| 3. Sede central, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial                                     | 28          |
| 4. Contenido de proteínas en tres residuos agrícolas fermentadas con <i>P. ostreatus</i>   | 38          |
| 5. Contenido de azúcares reductores en tres residuos agrícolas fermentadas con <i>P. ostreatus</i>   | 42          |
| 6. Contenido de fibra cruda en tres residuos agrícolas fermentadas con <i>P. ostreatus</i> .   | 43          |
| 7. Contenido de proteínas en tres residuos agrícolas fermentadas con <i>G. lucidum</i>   | 47          |
| 8. Contenido de azúcares reductores en tres residuos agrícolas control y fermentadas con   | 48          |
| 9. Contenido de fibra cruda en tres residuos agrícolas fermentadas con <i>G. lucidum</i>   | 50          |
| 10. Cepas de <i>Pleurotus ostreatus</i> y <i>Ganoderma lucidum</i> (derecha e izquierda) en PDA  | 79          |
| 11. Preparación del medio de cultivo (PDA) en placas y tubos de ensayo (derecha e izquierda)   | 79          |
| 12. Micelio de <i>P. ostreatus</i> y <i>G. lucidum</i> en PDA, 10 días de incubación (derecha e izquierda)   |             |
| 13. Semilla o spaw de <i>P. ostreatus</i> y <i>G. lucidum</i> en trigo entero (derecha e izquierda)  | 80          |
| 14. Residuos TT, MM y RQ y su molienda (derecha e izquierda)   | 81          |
| 15. Acondicionamiento de residuos agrícolas en bolsas de polietileno para su esterilización  | 81          |
| 16. Esterilización por vapor húmedo (autoclave) de los sustratos (derecha e izquierda)   | 82          |
| 17. Incubación del micelio de <i>P. ostreatus</i> y <i>G. lucidum</i> de los residuos agrícolas  | 82          |
| 18. Incubación para el proceso de fermentación en fase solidad de los residuos agrícolas con micelio de los hongos (temperatura ambiente y en oscuridad) | 83          |
| 19. Cosecha de las muestras a los 10, 20 y 30 días de incubación   | 83          |



- |            |   |    |
|------------|---|----|
| <b>20.</b> | Secado y molienda de las muestras fermentadas                               | 84 |
| <b>21.</b> | Acondicionamiento de las muestras fermentadas para los análisis respectivos | 84 |



## ÍNDICE DE ANEXOS

|                           | <b>Pág.</b> |
|---------------------------|-------------|
| 1. Matriz de consistencia | 75          |
| 2. Base de datos          | 76          |
| 3. Panel fotográfico      | 79          |



## RESUMEN

La actividad agrícola y agroindustrial genera grandes cantidades de residuos de diversas características, la mala disposición presenta una amenaza para la salud del hombre y el medio ambiente. El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la fermentación de residuos agrícolas con *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* en el contenido de proteínas, azúcares reductores y fibra cruda, la fermentación se realizó en bolsas de polipropileno de alta densidad y como sustratos se empleó marlo de maíz (MM), tallos de trigo (TT) y rastrojo de quinua (RQ); como bioinoculantes para la fermentación se usó micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma. Lucidum*. El contenido de proteínas se incrementó significativamente a los 30 días, mostrándose los mejores resultados con un incremento en 55,31%; 42,46% en TT y MM con respecto al testigo; *G. lucidum* demostró mejores resultados de proteínas a los 30 días de incubación con 50,06%, 43,93% en TT y MM con respecto a los testigos. El contenido de azúcares reductores en el MM fue 7,23g/100g y TT 7,26g/100g(testigo), estos disminuyeron a 1,57 y 1,49g/100g. El contenido de fibra cruda disminuyó significativamente en los sustratos fermentados con *P. ostreatus* ( $P<0,05$ ), reduciéndose en 11,98% (MM); 25,55% (TT) y 36,47%; (RQ), con *G. lucidum* la fibra disminuyo en 11,61% (MM); 27,93% (TT), y 26,25% (RQ). La fermentación conduce a la elaboración de productos con altos niveles de proteínas, mejor digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes, consecuentemente, podrían ser destinados como alimentos para animales.

**Palabras clave:** Azúcares reductores, basidiomicetos, *Ganoderma lucidum*, proteínas, *Pleurotus ostreatus*, residuos lignocelulósicos.

## ABSTRACT

Agricultural and agroindustrial activity generates large quantities of waste of various characteristics, the poor disposal presents a threat to human health and the environment. The purpose of this research was to evaluate the effect of fermentation of agricultural waste with *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum* on the content of proteins, reducing sugars and crude fiber, the fermentation was carried out in high density polypropylene bags and as a substrates were used cob corn (CC), wheat stalks (WS) and quinoa stubble (QS); mycelium from the fungus *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum* were used as bioinoculants for fermentation. The protein content increased significantly at 30 days, showing the best results with an increase of 55.31%; 42.46% in WS and CC compared to the control; *G. lucidum* showed better protein results at 30 days of incubation with 50.06%, 43.93% in WS and CC compared to the controls. The content of reducing sugars in the CC was 7.23g/100g and WS 7.26g/100g (control), these decreased to 1.57 and 1.49g/100g. The crude fiber content decreased significantly in the substrates fermented with *P. ostreatus* ( $P<0.05$ ), reducing by 11.98% (CC); 25.55% (WS) and 36.47%; (QS), with *G. lucidum* the fiber decreased by 11.61% (CC); 27.93% (WS), and 26.25% (QS). Fermentation leads to the elaboration of products with high levels of protein, better digestibility and bioavailability of nutrients, consequently, they could be used as animal feed.

**Keywords:** Basidiomycetes, *Ganoderma lucidum*, lignocellulosic residues, *Pleurotus ostreatus*, proteins, reducing sugars.

## INTRODUCCIÓN

Los residuos agrícolas se componen principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, gran parte de este material se elimina mediante la quema de la biomasa, considerado como fuente importante de material particulado y gases de combustión, y su mala disposición, resulta un impacto negativo en la salud de las personas y el medio ambiente (Jittin et al., 2021; Martens et al., 2022; Reid et al., 2005). Por tanto, la aplicación de los hongos de la pudrición blanca, debido a su capacidad enzimática de degradar todos los componentes de la lignocelulosa en compuestos orgánicos útiles e incrementando la digestibilidad de forrajes de baja calidad nutricional. *Pleurotus ostreatus*, es el segundo hongo comestible más cultivado a nivel mundial, con aplicaciones biotecnológicas y ambientales; con notable potencial para ser cultivado en diferentes sustratos debido a su importante capacidad de adaptación (Reddy et al., 2003). *Ganoderma lucidum* otro hongo de la pudrición blanca, desarrolla micelio blanco (Chen et al., 2012), se caracteriza por colonizar sustratos naturales, debido a enzimas extracelulares secretadas para la degradación de la lignocelulosa en nutrientes (Zhu et al., 2022; Yuliana et al., 2020). Siendo esta tecnología, una alternativa atractiva, frente a la fermentación sumergida, debido a su menor requerimiento de energía, mejores rendimientos del producto fermentado, menor producción de aguas residuales y menor riesgo de contaminación principalmente bacteriana. Permitiendo convertir diferentes sustratos como las cáscaras, pajas, salvado de cereales, melazas, tortas, bagazos, pulpas, etc., en ácidos orgánicos, como el bioetanol, proteínas, enzimas y otros metabolitos secundarios, destinados a la alimentación animal. Se investigó el efecto de la fermentación de residuos agrícolas con *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* en el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda. Los resultados demostraron que estas especies fúngicas, degradan el material lignocelulósico durante la fermentación, demostrándose cambios significativos en el contenido de proteínas y reducción de fibra cruda mejorando su digestibilidad. Estos productos fermentados, podrían ser destinados para alimentación animal y compostaje.

El capítulo I, describe el marco teórico donde se ha sistematizado las referencias de investigaciones realizadas sobre aplicaciones de la fermentación en estado sólido, características generales de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*, así como residuos agrícolas y su aprovechamiento, biodegradación de residuos lignocelulósicos y sus características fisicoquímicas. En el capítulo II, se detalla el planteamiento del problema



de acuerdo a los objetivos e hipótesis formulados en esta investigación. En el capítulo III, narra el lugar del estudio, se describe la población, la muestra, seguido de la metodología del trabajo para determinar los objetivos, las variables dependientes y/o independientes. El capítulo IV, explica los resultados y discusiones de la investigación a través de gráficos y cuadros estadísticos utilizando el software estadístico R v. 4.1.3. Por último, las conclusiones, recomendaciones, bibliografía consultada y anexos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco teórico

##### 1.1.1 Aplicaciones de la fermentación en estado sólido

La fermentación en estado sólido como proceso heterogéneo, durante las últimas dos décadas ha ganado una atención significativa para el desarrollo de bioprocesos industriales, debido al menor requerimiento de energía, con mayores rendimientos del producto y una menor producción de aguas residuales y menor riesgo de contaminación principalmente bacteriana (Thomas et al., 2013). La fermentación en estado sólido (SSF), es una tecnología que involucra sólidos casi ausencia de agua libre, pero el sustrato debe poseer suficiente humedad para permitir el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos (Han et al., 2001).

La fermentación en estado sólido es un proceso de fermentación, en la cual se cultivan microorganismos seleccionados como bacterias, hongos y levaduras, sobre un material orgánico, húmedo, sólido e insoluble, que actúa como fuente de nutriente para el desarrollo microbiano, en baja humedad (Manan y Webb, 2017; Pandey et al., 2000).

La aplicación de fermentación en estado sólido es de gran utilidad para convertir diferentes sustratos como las pajas, cáscaras, salvados de cereales, bagazo, melazas, tortas, pulpas de tubérculos, etc., en ácidos orgánicos, bioetanol, proteínas, enzimas y otros metabolitos secundarios (Obi et al., 2016).

Durante la fermentación en estado sólido los microorganismos producen celulasa para degradar los componentes de la pared celular y sintetizar proteínas. Esta fermentación incrementa los valores nutritivos y la digestibilidad de los residuos (Bisaria et al., 1997; Gao et al., 1997).

Esta tecnología tienen muchas aplicaciones en la producción de metabolitos secundarios, piensos para alimentación animal, combustible, productos químicos industriales, enzimas, ácidos orgánicos y otros. Ha surgido como una alternativa atractiva a la fermentación sumergida (Pandey, 2003).

### 1.1.2 Hongos lignocelulósicos de la pudrición blanca

En el proceso de biopretratamiento, los hongos de las pudriciones blancas y pardas, se utilizan principalmente para degradar la lignina y la hemicelulosa en la biomasa lignocelulósica. Entre ellos, los hongos de pudrición blanca, con más de 1500 especies diferentes, son capaces de descomponer la lignina con poco consumo del componente de celulosa. Se utilizan principalmente en el biopretratamiento de la biomasa para producir biocombustibles, incluido el biogás (Tian *et al.*, 2012). Las condiciones de crecimiento del hongo, por ejemplo, el tipo de cultivo, la temperatura, el valor del pH, la fuente de C y N, el contenido de sal apropiado y el tiempo de cultivo son esenciales para el tipo y la cantidad de metabolitos producidos por los hongos (Osinska *et al.*, 2015). Estas enzimas incluyen enzimas lignolíticas (lacasa, manganeso peroxidasa, lignina peroxidasa y peroxidasa versátil) y enzimas celulolíticas (endoglucanasa, celobiohidrolasa y betaglucosidasa). El uso de estos hongos para la producción de enzimas lignocelulolíticas de bajo costo podría ser atractivo para la producción de biocombustibles (Tamilvendan *et al.*, 2012). La hidrólisis de la celulosa es una ruptura secuencial de las cadenas lineales de glucosa, mientras que las hemicelulasas deben ser capaces de hidrolizar cadenas ramificadas que contengan diferentes azúcares y grupos funcionales.

Debido a su capacidad para degradar la lignina y los polisacáridos que se encuentran en la celulosa y la hemicelulosa, los hongos de la pudrición blanca tienen el potencial no solo de actuar como pretratamiento biológico, sino también de degradar todos los componentes principales de la lignocelulosa para producir productos valiosos. Aunque la lignina puede ser degradada por estos microorganismos, las enzimas responsables se producen solo cuando otros sustratos ampliamente disponibles no están disponibles. El propósito de la degradación de la lignina por los hongos de pudrición blanca es permitir un mejor acceso a los componentes de celulosa y hemicelulosa. Se cree que tres enzimas.

Principales están involucradas en la biodegradación lignolítica, a saber, la peroxidasa de lignina (LiP), la peroxidasa de manganeso (MnP) y la lacasa (Nigam *et al.*, 2009). Los hongos de pudrición blanca han recibido mucha atención en los últimos años por sus valiosos sistemas enzimáticos que degradan

eficazmente las biomasas lignocelulósicas. Estos hongos tienen poderosas enzimas oxidativas e hidrolíticas extracelulares que degradan los biopolímeros de lignina y celulosa, respectivamente. Las biomasas lignocelulósicas de desechos agrícolas o forestales son abundantes alternativas de materia prima de bajo costo en la naturaleza, pero requieren hidrólisis en azúcares simples para la producción de biocombustibles (Manavalan et al., 2015).

La producción de bioproductos de alto valor agregado, incluidos aminoácidos, antibióticos, vitaminas, enzimas y productos químicos, utilizando microorganismos ha sido un tema de moda en la industria biotecnológica. El uso de biomasa de desechos agroindustriales para aprovechar oportunidades en aplicaciones biotecnológicas en la producción de productos de valor agregado es beneficioso, ya que este material no compite con el suministro mundial de alimentos (Bilal *et al.*, 2017). Una alternativa a la producción de micoproteínas es el aprovechamiento de residuos agroindustriales como materia prima para la obtención de micelios de hongos en cultivo en estado sólido (SSC). Considerándose una fuente alternativa de proteína animal, debido a que la fermentación permite el enriquecimiento nutricional de los residuos lignocelulósicos (Silva *et al.*, 2016; Moreira y Badiale, 2007). Como resultado de esto, algunos investigadores consideran que los hongos son una buena fuente de proteínas. Además del contenido de proteínas, también la digestibilidad y la calidad de las proteínas son importantes para el valor nutricional de los hongos. La calidad de las proteínas está ligada a la presencia de aminoácidos esenciales. Los aminoácidos esenciales son aminoácidos indispensables que los seres humanos no pueden sintetizar por sí mismos, pero que deben tomarse de fuentes alimentarias. Los aminoácidos esenciales son fenilalanina, valina, treonina, triptófano, metionina, leucina, isoleucina, lisina e histidina (Baars, 2018).

### 1.1.3 Características generales de *Pleurotus ostreatus*

En su hábitat natural *P. ostreatus* y *P. eryngii* crecen sobre maderas duras de bosques y pueden ser cultivados artificialmente en diversos sustratos lignocelulósicos principalmente por fermentación en estado sólido (Melanouri et al., 2021). (Reddy et al., 2003). *Pleurotus ostreatus* es un hongo muy popular, considerado una fuente importante de polisacáridos, proteínas, vitaminas,



minerales y compuestos bioactivos con efecto positivo en la salud del hombre (Dedousi et al., 2023). Este basidiomiceto es capaz de colonizar y degradar diversos subproductos agroindustriales, descomponiendo eficientemente sustratos ricos en lignocelulosa, debido a su capacidad enzimática lignolítica (lacasa, lignina, peroxidasa) y enzimas celulolíticos (celulasas, xilanas, endo y exoglucanasa) (Melanouri et al., 2021; Philippoussis et al., 2009; Philippoussis et al., 2001; Philippoussis et al., 2007).

El género *Pleurotus* comprende un grupo de hongos lignolíticos comestibles con propiedades medicinales y de importantes aplicaciones biotecnológicas y ambientales. Uno de los aspectos más importantes de *Pleurotus spp.*, está relacionado con el uso de su sistema lignolítico, como la bioconversión de desechos agrícolas en productos valiosos para alimentación animal y otros productos alimenticios y el uso de sus enzimas ligninolíticas para la biodegradación de organocontaminantes, xenobióticos y contaminantes industriales (Cohen *et al.*, 2012).

La popularidad de los hongos ostra se debe en parte a la gran cantidad de corrientes de desechos agrícolas que se pueden utilizar como sustrato para su cultivo. Se ha informado que crecen en la mayoría de las maderas duras, subproductos de la madera como aserrín, papel, lodos de pulpa, todas las pajitas de cereales y mazorcas de maíz, residuos de café como posos de café, cáscaras, tallos y hojas, hojas de plátano, desperdicios de algodón, helechos azolla, paja de frijoles y vainas, agave y yuca, en pulpa de cardamomo, cáscara de coco, cáscara de maní y jacinto de agua, estípites de yuca, hojas y cáscaras, follaje de papa, tallos de sésamo, cáscaras de girasol y otros ( Baars, 2018).

*Pleurotus* u hongo ostra es el segundo hongo comestible más distribuido a nivel mundial y comprende el grupo de hongos de podredumbre blanca con propiedades medicinales, aplicaciones biotecnológicas y ambientales, con notable potencial para ser cultivado en diferentes sustratos debido a su importante capacidad de adaptación los cuales serán tratados en el presente trabajo de investigación (Figura 1)

## Figura 1

*Cuerpo fructífero del hongo Pleurotus ostretus*



*Nota.* Laboratorio de Microbiología, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial UNAMBA (2019).

### 1.1.4 Características generales de *Ganoderma lucidum*

*Ganoderma lucidum* comprende probablemente 400 componentes biológicamente activos diferentes, principalmente polisacáridos, triterpenoides, proteínas, enzimas, esteroides, esterol, nucleótidos, ácidos grasos, vitaminas y minerales, las cuales han demostrado tener varias propiedades terapéuticas para el control de diversas enfermedades. *Ganoderma lucidum* es la especie ampliamente estudiada por sus metabolitos secundarios y actividades biológicas (Ahmad, 2018; Baby *et al.*, 2015). Es un basidiomiceto que degrada la madera con numerosos efectos farmacológicos. Dado que el hongo es muy raro en la naturaleza, se conoce el cultivo artificial de cuerpos fructíferos en troncos de madera y en aserrín en bolsas o botellas de plástico. También se ha establecido el cultivo biotecnológico de micelios de *G. lucidum* en biorreactores, tanto en sustratos sólidos como en medios líquidos mediante cultivo sumergido de biomasa fúngica. Los triterpenos, los esteroides y los polisacáridos son los principales constituyentes de *Ganoderma* especie. Las proteínas, los péptidos, los aminoácidos, los nucleósidos, los ácidos grasos, los alcaloides y los elementos inorgánicos también son constituyentes biológicamente importantes en *Ganoderma* (Canjun *et al.*, 2007). La celulosa está compuesta por unidades de

glucosa a través de enlaces glucosídico  $\beta$ -1,4, mientras que la hemicelulosa está formado por una variedad de azúcares simples, como D-galactosa, L- arabinosa, D-xilosa, D- ramnosa y D- manosa (Lynd et al., 2002). La lignina es otro material estructural importante de la pared celular vegetal (Davin y Lewis, 2005). La digestión de la lignina por los hongos se lleva a cabo mediante la peroxidasa y lacasa (Geib et al., 2008). Ganoderma es un grupo de hongos que degradan la madera, pertenecen al reino de los hongos, división de Basidiomycota, clase de Homobasidiomycetes, orden de Aphyllophorales, familia de Polyporaceae (Ganodermataceae) y al género de Ganoderma (Baby *et al.*, 2015) como se observa (Figura 2)

### Figura 2

*Cuerpo fructífero o basidiocarpo de Ganoderma lucidum*



*Nota.* Tomado de Loyd et al., (2018).

#### 1.1.5 Residuos agrícolas y su aprovechamiento

A nivel mundial se produce millones de toneladas al año de residuos agrícola como los residuos de maíz y la paja de trigo y otros cereales, cuya mala disposición de estos pueden dañar el medio ambiente (Jittin et al., 2021). Estos residuos generalmente se queman, o se depositan en vertederos. La combustión al aire libre de estos residuos libera grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera, incluida el material particulado (PM), CO y algunos hidrocarburos,

responsables de graves impactos ambientales (Tiammee y Likasiri, 2020). Los residuos agrícolas se pueden dividir en residuos de campo y residuos de proceso. Los residuos de campo son residuos resultantes durante la cosecha y recolección de cultivo, estos pueden consistir de hojas, tallos, vainas de semillas y tallos. Mientras los residuos del proceso son residuos presentes durante el procesamiento.

La producción mundial de grano de maíz ha aumentado en un 40% durante la última década. El maíz produce tallos, hojas, cáscara y mazorca, constituyendo entre el 47% y el 50% de los residuos. Las mazorcas son residuos no comestibles y comprende grandes cantidades de desecho cada año, debido a la producción de 18 kg mazorca por cada 100 kg de grano de maíz (Tsai et al., 2001). La celulosa, hemicelulosa y lignina contenidas en la microestructura y composición fibrosa de la mazorca de maíz, son estructuras porosas que mantiene baja densidad (Takada et al., 2018). Desde el 2013 se produce etanol a partir de mazorca de maíz (Latner et al., 2007).

La composición promedio de la mazorca de maíz y la paja de trigo en el contenido de celulosa comprende en 36% para cada residuo, el contenido de hemicelulosa 38% y 30% respectivamente y el contenido de lignina de 11% y 17% respectivamente. Los altos contenido de celulosa y menor contenido de lignina hacen de la mazorca de maíz un excelente opción para la producción de etanol, mediante la hidrólisis enzimática y fermentación (Gandam et al., 2022).

La mazorca de maíz se compone de tres fracciones de tejido como la paja (parte exterior), anillo leñoso (parte media) y médula (parte interior). La hemicelulosa es el componente principal en todas las fracciones, especialmente en el anillo con un 42,73%; la celulosa es el segundo componente principal con 34,23% el contenido de lignina es inferior con 17,26% en todas las fracciones. Los componentes más importantes de la hemicelulosa fueron la xilosa con 80,63%, seguido de la arabinosa 13,8%, galactosa con 3,57% y el ácido acético fue de 3,97% (Takada et al., 2018). En las últimas décadas, la reutilización de residuos lignocelulósicos ha crecido debido a la preocupación por la economía circular y sostenible, con la finalidad de minimizar la gran diversidad de residuos y convertirlo en metabolitos microbianos de alto valor, proteína microbiana y

biocombustible (Kumar et al., 2018). *P. ostreatus* es un hongo cosmopolita con alto valor nutricional y propiedades terapéutica, con una amplia gama de aplicaciones biotecnológicas y ambientales (Knop et al., 2015).

Los residuos son fuente alternativa para producción de diferentes productos como biogás, biocombustible, enzimas, vitaminas, antioxidantes, alimentos para animales y otros productos. El uso de los residuos agroindustriales como materia prima ayuda a reducir los costos de producción también la contaminación del medio ambiente.

#### **1.1.6 Biodegradación enzimática de residuos lignocelulósicos por los hongos**

El proceso de fermentación en estado sólido (SSF) se ha considerado preferible a la fermentación sumergida para el pretratamiento. Permite mayores cargas de materia prima, favorece la unión de enzimas fúngicas al sustrato, así como la difusión de oxígeno. Los costos son más bajos que con el cultivo líquido porque SSF requiere menos aireación, calentamiento, mezcla y agua (Tian *et al.*, 2012).

Existen complejos enzimáticos en cepas de hongos del género *Pleurotus*, como la celulasa, celobiasa, hemicelulasa, ligninasa, lacasa (Platt *et al.*, 1984; Tsang *et al.*, 1987). Los procesos de fermentación de cualquier material que contenga azúcar podrían derivar en etanol. Las diversas materias primas utilizadas en la fabricación de etanol mediante fermentación se clasifican convenientemente en tres tipos principales de materias primas: azúcares, almidones y materiales de celulosa. La celulosa (de la madera, de los residuos agrícolas, de los licores de sulfito de desecho de las papeleras y de las pulpas) también debe ser convertida en azúcares, generalmente por la acción de ácidos minerales. Una vez que se forman los azúcares simples, las enzimas de los microorganismos pueden fermentarlos fácilmente a etanol. La lignocelulosa está compuesta por una mezcla de polímeros de carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) y lignina. El proceso biológico para convertir la lignocelulosa en etanol combustible requiere lo siguiente: deslignificación para liberar celulosa y hemicelulosa de su complejo con lignina, despolimerización de los polímeros de carbohidratos para producir azúcares libres y fermentación de azúcares mixtos de hexosa y pentosa para

producir etanol (Lin y Tanak, 2006). Las celulasas se clasifican claramente en tres categorías principalmente: endonucleasa, exonucleasa o celobiohidrolasa y  $\beta$ -glucosidasas o celobiasas, según su estructura y función (Valdés et al., 2020). Para la degradación de celulosa, los basidiomicetos utilizan un conjunto de enzimas hidrolíticas típicamente compuestas de endoglucanasa, celobiohidrolasa y  $\beta$ -glucosidasa. La hidrólisis usando enzimas apropiadas representa el método más efectivo para liberar azúcares simples de materiales celulósicos. La hidrólisis de celulosa es catalizada por una clase de enzimas conocidas como celulasas. Estas enzimas pueden ser producidas por hongos como *Trichoderma reesei* y *A. niger* y/o bacterias como *Clostridium cellulovorans* (Arai et al., 2006). Para lograr la degradación completa de la lignocelulosa, los hongos de la podredumbre blanca secretan potencialmente un conjunto único de peroxidasas ligninolíticas (lignina peroxidasas) y manganeso peroxidasas (MnPs) así como, fenol oxidasas que contienen Cu (lacasas) junto con mediadores de bajo peso molecular (Nigam et al., 2009).

La producción de hongos puede convertir los enormes materiales de desecho lignocelulósicos en una amplia diversidad de productos (alimentos, piensos y fertilizantes comestibles o medicinales), protegiendo y regenerando el medio ambiente. Además, la producción de hongos puede generar un crecimiento económico equitativo que ya ha tenido un impacto a nivel nacional y regional. Se espera que este impacto continúe aumentando y expandiéndose en el futuro, debido a que más del 70 % de los materiales agrícolas y forestales son improductivos y se han desperdiciado en el procesamiento agroindustrial o incluso en el período de consumo (Pandey et al., 2008).

Los principales constituyentes de los hidrolizados enzimáticos son la glucosa y la xilosa liberadas de la celulosa y la hemicelulosa (Lee, 1997). El proceso biológico para convertir la lignocelulosa en etanol combustible requiere: la deslignificación para liberar la celulosa y la hemicelulosa de su complejo con la lignina; la despolimerización de los polímeros de carbohidrato para producir azúcares libres y fermentación de azúcares mixtos de hexosa y pentosa para producir etanol. El sistema clásico de celulasas fúngicas es un complejo enzimático que consta de endoglucanasa, exoglucanasa y celobiasa. Las ligninas son extremadamente resistentes a la degradación química y enzimática; en la



degradación biológica los hongos, son los organismos más eficientemente como los basidiomicetos de pudrición blanca (Lee, 1997).

### 1.1.7 Características fisicoquímicas de los residuos lignocelulósicos

Los residuos agrícolas están compuestos por una compleja red de microfibrillas de celulosa incrustada en una matriz de hemicelulosa y lignina interpuestas, conformando la pared celular de los vegetales (Hölker y Lenz, 2005). La celulosa y la hemicelulosa son dos tipos de polímeros, componentes estructurales de la pared celular de las plantas, ambos son polisacáridos y están compuestos por monómeros de azúcar. La celulosa se produce por la polimerización de monómeros de  $\beta$ -glucosa exclusivamente, tiene forma lineal. En cambio, la hemicelulosa está conformado por varios monómeros como la xilosa, galactosa, manosa, ramnosa y arabinosa, formando un polímero reticulado.

La celulosa o  $\beta$  - 1,4 glucano, es el polímero más abundante en la tierra (Lee, 1997). La cantidad anual disponible de este último se estima en  $1,5 \times 10^{12}$  toneladas por año. La celulosa en su análisis revela que tiene más del 95% de glucosa y otros azúcares pueden estar presente como galactosa, manosa o xilosa (Satgé *et al.*, 2004). El material lignocelulósico se compone principalmente de tres polímeros, lignina, celulosa, hemicelulosa, así como varios otros compuestos inorgánicos ( $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , etc.) (Galbe y Zacchi, 2012). Los materiales a base de azúcar y almidón, como la caña de azúcar y los granos, son dos grupos de materias primas que se utilizan actualmente como principales recursos para la producción de etanol. El tercer grupo, son los materiales lignocelulósicos que presentan la opción más viable para producción de etanol. Sin embargo, por la creciente demanda de alimentos para los seres humanos, podrían hacer que los dos primeros grupos de materias primas sean potencialmente menos competitivos y quizá materias primas muy caras en comparación a los materiales lignocelulósicos (Taherzadeh y Karimi, 2007). En Brasil y los Estados Unidos de América, el etanol generalmente se produce a partir de jugo de caña y cultivos de almidón (Sánchez, 2009), que agota nuestro suministro de alimentos y plantea problemas éticos y económicos. Estas preocupaciones se han convertido en una fuerza impulsora en la generación de nuevas investigaciones sobre biocombustibles utilizando biomasa lignocelulósicas como una fuente



importante de producción de biocombustibles, ya que la producción anual de este tipo de biomasa se ha estimado en aproximadamente 10 a 50 mil millones de toneladas en todo el mundo (Sánchez y Cardona, 2008).

Los azúcares fermentables de la lignocelulosa se derivan de la celulosa y las hemicelulosas, pero no son fácilmente accesibles a la hidrólisis enzimática y requieren un pretratamiento, lo que provoca una gran modificación de la estructura lignocelulósica. La hidrólisis de carbohidratos de lignocelulosa en azúcares fermentables requiere varias celulasas y hemicelulosas diferentes. La hidrólisis de la celulosa es una ruptura secuencial de las cadenas lineales de glucosa, mientras que las hemicelulosas deben ser capaces de hidrolizar cadenas ramificadas que contengan diferentes azúcares y grupos funcionales (Jorgensen *et al.*, 2007).

La biomasa lignocelulósica (LCB) es la fuente de carbono renovable más abundante en la tierra. Se presenta en diferentes formas (residuos agrícolas, desechos forestales, etc.) y se componen principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina en diferentes proporciones, tal como se observa en la Tabla 1.

Además el LCB contiene polisacáridos (Jorgensen *et al.*, 2007; Chang y Holtzapple, 2000) que pueden transformarse en azúcares fermentables simples para la producción de biocombustible, por ejemplo bioetanol de segunda generación. A diferencia del bioetanol de primera generación que suele producirse a partir de plantas azucareras y amiláceas.

**Tabla 1**

*Composición química de tallos de maíz (en base de materia seca %)*

| Residuo agrícola      | Carbohidratos Totales | Proteína cruda | Fibra cruda | Celulosa | Hemicelulosa | Lignina |
|-----------------------|-----------------------|----------------|-------------|----------|--------------|---------|
| <b>Tallos de maíz</b> | 35,10                 | 3,60           | 42,15       | 41,00    | 26,01        | 11,49   |

*Nota:* Darwish et al., (2012)

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Internacionales

Gao et al., (1997), demostraron que, 18 cepas de microorganismos celulolíticos, entre bacterias y hongos, se analizó una cepa de hongo de la especie *Chaetomium cellulolyticum* con respecto a su capacidad de descomponer la celulosa y la hemicelulosa y su capacidad para sintetizar proteínas. Durante la incubación, desarrollo en paja de maíz cruda en fermentación de fase sólida (FFS) durante 5 días, el contenido de aminoácidos en el producto fermentado alcanzó el 19,29 % (p/p) desde el 6,43 % en muestra cruda, mientras que la pared celular total se redujo en un 54 %.

Adamovic et al., (1998), investigaron en condiciones de laboratorio la degradación de paja de trigo por influencia de enzimas de *Pleurotus ostreatus*. La paja fue troceada y pasteurizada a presión con 24% de materia seca sembrándose con micelio del hongo. Los análisis de la paja se realizaron a 15, 30, 45, 60, 90 y 120 día después de la siembra. Los resultados muestran que la fibra detergente neutra (NDF) disminuyó de 824 a 485 g kg<sup>-1</sup>, y fibra detergente ácido (ADF) subió de 561 a 412 g kg<sup>-1</sup>. El contenido de ceniza aumentó de 62,6 a 97,8 g kg<sup>-1</sup>. Las tasas de degradación calculadas para los constituyentes individuales de los componentes de la pared celular fueron: hemicelulosa 0,902, lignina 0,450, NDF 0,402, celulosa 0,290 y ADF 0,276% día. Los resultados obtenidos muestran que una parte sustancial de la materia seca de la paja fue degradada por las enzimas del hongo. Los residuos gastados de *Pleurotus ostreatus* se puede utilizar para compost, así como para la dieta del ganado.

Abu et al., (2000), señalan que, la harina de raíz de camote fermentado con tres especies de hongos filamentosos como el *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae* y *Pleurotus ostreatus*, mediante fermentación en estado sólido. Resultando cambios en la composición de los lípidos totales del camote fermentado con *A. niger* y *A. oryzae*, aumentando de 1,93% a 3,17% y de 1,93% a 8,71% respectivamente, mientras que disminuyó en *P. ostreatus* del 1,93% al 0,54%. El contenido de proteína de la batata fermentada aumentó significativamente por encima de las muestras no fermentadas, y el enriquecimiento de proteína fue más alto con *A. niger*, seguido por *A. oryzae*, y más bajo en *P. ostreatus*. Este estudio

demonstró que la fermentación en estado sólido de camote con *A. niger* y *A. oryzae* aumentó el contenido de lípidos y proteínas.

Villegas et al., (2007), realizaron 55 diferentes combinaciones de sustratos utilizando dos residuos agroindustriales (cascarilla de cacao y residuos de algodón), un suplemento maderable (viruta de roble), como fuente de nitrógeno (salvado de trigo), un controlador de pH ( $\text{CaCO}_3$ ) y un estimulador de crecimiento ( $\text{CaSO}_4$ ). Se encontró que la formulación del sustrato tiene un gran efecto sobre el tiempo de colonización del bloque ( $P < 0,05$ ), siendo la viruta de roble un elemento esencial para la reducción del tiempo de desarrollo del micelio, hallaron que la cascarilla de cacao no es un buen suplemento para la producción del hongo.

Duncan y Schilling, (2010), emplearon hongos de la descomposición de la madera *Trametes versicolor* y *Postia placenta* se cultivaron en cultivo líquido con diferentes sustratos (álamo temblón, pino, rastrojo de maíz, pasto de la pradera y alfalfa) durante un período de 16 semanas. El contenido total de azúcar fermentable de los 5 sustratos osciló entre 56% en álamo temblón y 43% en alfalfa. El hongo de la pudrición parda *P. placenta* redujo el contenido de glucano y hemicelulosa para álamo temblón, pino de pradera, mientras que el contenido de lignina aumentó en relación con otros componentes químicos. *P. placenta* no hizo cambios significativos en la composición del rastrojo de maíz y alfalfa. La cantidad de proteína en el sobrenadante de la enzima en la semana 0 fue mayor en rastrojo de maíz, pasto de pradera y alfalfa a 91; 88 y 70  $\text{g ml}^{-1}$  (respectivamente) en comparación con 3,2 y 9  $\text{g ml}^{-1}$  para álamo temblón y pino. El contenido de proteína se mantuvo bastante constante durante el experimento para *T. versicolor* y e *P. placenta* en el álamos, pinos y praderas degradados, pero para *P. placenta* en rastrojo de maíz y alfalfa la proteína subió constantemente a niveles máximos de 200 y 550  $\text{g ml}^{-1}$ .

Talebna et al., (2010), plantearon como objetivo, revisar los avances más recientes en el pretratamiento, hidrólisis y fermentación de la paja de trigo. Según el tipo de método de pretratamiento aplicado, se logró un rendimiento de azúcar del 74 al 99,6 % del máximo teórico después de la hidrólisis enzimática de la paja de trigo. Se han investigado varias bacterias, levaduras y hongos con un rendimiento de etanol que oscila entre el 65 % y el 99 % del valor teórico. Algunas

bacterias y levaduras recombinantes han mostrado resultados prometedores y se está considerando su ampliación comercial. La biorrefinería de paja de trigo podría ser la solución a corto plazo para la producción limpia, eficiente y económicamente viable de bioetanol, así como de productos de alto valor añadido.

Shi et al., (2012), mencionan que, las condiciones de fermentación en la producción de polifenoles totales a partir del hongo *Lentinus edodes* utilizando residuos de cuajada de soja (SCR) se investigaron en cultivos en estado sólido. Como resultado, la condición óptima de producción de polifenoles totales se determinó de la siguiente manera: 12,13 % del tamaño del inóculo, 76,96 % de contenido de humedad durante 24 días de incubación. En comparación con SCR sin fermentar, el rendimiento total de polifenoles aumentó de  $3,12 \pm 0,02$  a  $22,93 \pm 0,41$  mg de equivalente de ácido gálico por gramo. Además, los polisacáridos y los aminoácidos totales de la SCR fermentada aumentaron cinco y 100 veces en comparación con la SCR no fermentada. Estos afirmaron que el SCR fermentado podría ser un alimento ecológico potencial y nutritivo y un material alimentario funcional. Por lo tanto, se podría producir un alimento funcional nutritivo o aditivos alimentarios usando RCS fermentada.

Tamilvendan et al., (2012), informan sobre el análisis de secretoma (conjunto de proteínas) de *Ganoderma lucidum* cuando se cultiva en bagazo de caña de azúcar como sustrato de lignocelulósico. Los sustratos de bagazo de caña de azúcar colonizados por micelio se recolectaron en diferentes etapas de la fermentación en estado sólido (5 a 50 días). Pudieron demostrar la expresión de enzimas lignocelulolíticas, incluyendo varias celulasas (exo y endo glucanasa, celobiasa), hemicelulasas (endo xilanasas, alfa galactosidasas), una celobiosa deshidrogenasa, glucósido hidrolasas, una transaldolasa, una Acil CoA dehidrogenasa, una MnP, el glutatión reductasas, fosfatasas y una proteasa. Por eso, *G. lucidum* es un candidato potencial para la producción de enzimas lignocelulolíticas y capaz de degradar un sustrato de lignocelulosa complejo en azúcares simples para la generación de biocombustible en el futuro.

López et al., (2015), señalan que los hongos de la podredumbre blanca de la madera, como *Ganoderma sp.*, han sido utilizados alrededor del mundo por sus propiedades medicinales, ya que poseen compuestos bioactivos como los

triterpenos y los polisacáridos. En este trabajo, se logró obtener altos rendimientos de biomasa y de polisacáridos a partir de una cepa colombiana de *Ganoderma sp.*, aislada en la región Andina tanto a escala de Erlenmeyer como de biorreactor de 5 L. utilizando como sustrato un residuo ligninocelulósico de la industria agrícola suplementado con glucosa y lactosa. Se encontró que las condiciones más adecuadas y viables para la producción de biomasa y polisacáridos de *Ganoderma sp.*, son: medio Bio 3%, 10 días de incubación, lactosa 10%, pH= 4,0, T= 30°C, 300 rpm y 1 vvm. Los ensayos espectrofotométricos (fenol ácido sulfúrico y escaneo en UV entre 200 y 400 nm), enzimáticos y de infrarrojo permitieron identificar y cuantificar glucanos y algunas proteínas en los extractos.

Zhai et al., (2015), señalan que el objetivo de su investigación fue, evaluar los efectos de la fermentación en estado sólido (FES) por el hongo *Agaricus blazei* Murrill (ABM), sobre los componentes nutricionales y las propiedades antioxidantes del trigo, el arroz, la avena, el maíz, el mijo, el mijo y el sorgo. Los resultados mostraron que los contenidos de componentes nutricionales en los cereales fermentados variaron con el tiempo de fermentación. Después de la SSF de ABM, el mijo presentó altas tasas de contenidos en fenoles totales, nitrógeno de aminoácidos y contenido de proteína soluble en agua fueron las más altas, siendo respectivamente 4,03; 12,04 y 10,37 veces más altas que las del control; en el trigo el contenido de proteína total y contenido de azúcares reductores fueron las más altas, las cuales fueron 0,32 y 100,77 veces mayores que la del control. Se demostró que las propiedades antioxidantes de los cereales fueron significativamente más fuertes que el control después de fermentado por ABM.

Wanzenbock et al., (2017), señalan que la utilización alternativa de salvado de trigo como sustrato para la producción de hongos y los sustratos residuales para otras posibilidades de aplicación sostenible. Se inocularon sustratos que contenían 250 g/kg, 500 g/kg y 980 g/kg de salvado de trigo con esporas de *Pleurotus eryngii* y *Pleurotus ostreatus* mediante fermentación en estado sólido. El mayor rendimiento de biomasa, el contenido de proteína y materia seca se obtuvo con 980 g/kg de salvado, cuando se inoculó con *Pleurotus eryngii*. La fermentación disminuyó notablemente el contenido de fitato, la viscosidad y el nivel de fibra detergente neutro. Además, el sustrato que contenía

980 g/kg de salvado mostró una notable disminución de fibra detergente. La producción de hongos en salvado de trigo mejoró la calidad de los hongos comestibles en comparación con los sustratos de uso común y también ofrece algunas posibilidades de aplicación innovadoras del sustrato fermentado en la alimentación animal.

Kumar Sadh et al., (2018), señalan que los residuos agroforestales se pueden utilizar como materia prima, una fuente alternativa para la producción de diferentes productos como biogás, biocombustibles, hongos comestibles y tempeh. Los microorganismos tienen potencial para reutilizar los desechos como materia prima para su crecimiento a través de procesos de fermentación. El uso de desechos agroindustriales como materia prima puede ayudar a reducir el costo de producción y también reducir la carga de contaminación del medio ambiente. Los desechos agroindustriales se utilizan para la fabricación de biocombustibles, enzimas, vitaminas, antioxidantes, alimentos para animales, antibióticos y otros productos químicos a través de la fermentación en estado sólido (SSF). Como tecnología se puede utilizar una variedad de microorganismos.

Acosta et al., (2019), demostraron que, la fermentación en estado sólido (SSF) de sólidos del nejayote (residuos de maíz pelado con cal) con cuatro variedades diferentes de hongos comestibles como el *Aspergillus oryzae*, *Pleurotus ostreatus* (variedades perla y azul) y *Hericiium erinaceus*. Observaron incrementos importantes del 31 - 325% en comparación con el control en el contenido de compuestos fenólicos después de 3 días de fermentación con *P. ostreatus* (Perla) y *Hericiium erinaceus*; aumentó 2 veces la capacidad antioxidante en comparación con el nejayote sin fermentar en el día 3 de fermentación. *P. ostreatus* (Perla) también aumentó la fibra dietética soluble (SDF) en un 45,49% al tercer día de fermentación. Dichos cambios mejoran en gran medida los sólidos de nejayote, lo que respalda su potencial para valorizarse como un ingrediente alimentario funcional.

Díaz et al., (2019), evaluaron la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*, usando como sustrato residuos lignocelulósicos paja de arroz (PA), bagazo de caña de azúcar (BC), coronta de maíz (CM) y residuos de la poda de pasto de parques (RP). En la primera fase se realizó proliferación del micelio

(medio de soporte PDA) y producción de inóculo (granos de trigo) a partir de la cepa del hongo *P. ostreatus*. En la segunda fase se inocularon los sustratos contenidos en bolsas de polipropileno y con una humedad de 65%, se usó un diseño completamente al azar (DCA) conformado con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos fueron incubados bajo oscuridad a una temperatura de 28°C. Los resultados demostraron que el sustrato conformado por bagazo de caña de azúcar (BC) obtuvo los mayores porcentajes de eficiencia biológica (EB) y rendimiento (R) con 16,77% y 0,90% respectivamente.

Stoffel et al., (2019), estudiaron las micoproteínas en bagazo de uva y grano gastado de cervecería, mediante cultivo en estado sólido con los hongos *Agaricus blazei*, *Auricularia fuscosuccinea* y *Pleurotus albidus*, así como el valor nutricional y actividad biológica de las muestras. La micoproteína en el grano gastado cervecero dio como resultado los valores más altos de proteínas (22,6 g.100 g<sup>-1</sup>), aminoácidos totales (78,54 mg. g<sup>-1</sup>), ergosterol (0,39 ± 0,01 mg.g<sup>-1</sup>) y biomasa micelial (125,60 ± 3,30 mg.g<sup>-1</sup>). Para *A. fuscosuccinea*, la micoproteína en el grano gastado de cervecería dio como resultado el valor más alto de fenoles totales (3,80 mg EAG/g) y una mayor actividad antioxidante. Usando bagazo de uva, en *P. albidus* la micoproteína aumentó 23,9%, se redujo de 15,5% y 77% las grasas totales y los fenoles, respectivamente. Los hongos utilizados en este trabajo, pertenecientes a los hongos de la pudrición blanca, tienen las características de despolimerizar componentes de la pared celular vegetal y asimilar los compuestos nitrogenados de los sustratos.

Pinela et al., (2020), señalan que, los hongos modifican las propiedades de los materiales lignocelulósicos durante la fermentación en estado sólido (SSF). En este estudio, se utilizaron residuos agrícolas (cáscaras de semillas de girasol, cáscaras de arroz y paja de arroz) como sustratos para la fermentación en fase sólida (SSF) con cepas dicarióticas y monocarióticas de *Pleurotus sapidus*. Tanto las cepas dicarióticas como monocarióticas de *P. sapidus* podría emplearse en modo SSF en subproductos de arroz y girasol con el fin de obtener un alimento animal, con contenido reducido en polifenoles. Estos resultados indican que *P. sapidus* representan un buen candidato para modificar la fracción fenólica presente en residuos de cultivos con la consecuente disminución de sus bioactividades.



Eliopoulos et al., (2021), señalan que el grano usado de cervecería (GUC) representa el 85% del residuo total producido durante el proceso de elaboración de la cerveza, con un volumen de producción anual global superior a 30 Millones de toneladas. El estudio actual se refiere a la aplicación de la fermentación en estado sólido (FES) como un bioproceso donde se mejora el valor nutricional de GUC para su uso posterior como alimento para animales con mayor valor. El procedimiento SSF investigado fue iniciado por los hongos comestibles *Pleurotus ostreatus*, que constituye una fuente natural de proteínas,  $\beta$ -glucanos y diversos metabolitos (vitaminas, nutrientes, etc.). Aquí, la FES de GUC dio como resultado un aumento significativo del contenido de proteína en un 49,49 %, y una reducción respectiva de celulosa en un 11,42 %. Se espera que la aplicación de este método sea información útil sobre la utilización de BSG como sustrato para SSF iniciado por hongos, permitirá la reducción significativa del impacto ambiental, una alternativa útil para producción de alimentos animales.

Melanouri et al., (2021), indican que la influencia de diez residuos, como paja de trigo (WS), aserrín de madera de álamo (PWS), orujo de uva (GP), virutas de madera de haya (BWS), torta de algodón (CK), mazorcas de maíz (CC), residuos de café. (CR), pulpa de aceituna (OP), paja de cebada y avena (BOS) y corteza de arroz (RB), utilizados como sustratos alternativos para el cultivo de hongos *Pleurotus*, fueron examinados durante el crecimiento micelial de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus eryngii*. Evaluaron con respecto a sus tasas de crecimiento micelial, producción de biomasa y actividades endoglucanasa y lacasa. Los resultados mostraron que las mayores tasas de crecimiento de *P. ostreatus* se observan en los sustratos BWS, BOS, CC y RB, variando el tiempo de colonización completa entre 16 y 36 días, mientras que para *P. eryngii* se observó una alta tasa de crecimiento en CC, OP, CR y BOS con el período de colonización oscilando entre 26 y 51 días. Este estudio mostró el potencial industrial para convertir importantes residuos agrícolas de bajo valor en biomasa fúngica y enzimas y, finalmente, en productos alimenticios valiosos.

Sudhakar et al., (2021), emplearon sustratos de hongo gastado (SMS) obtenido de *Ganoderma lucidum*. Los constituyentes bioquímicos como carbohidratos totales, azúcares reductores, fenol total y proteína cruda del hongo gastado tienen  $33,58 \pm 0,17$  mg/g,  $8,28 \pm 0,35$  mg/g,  $2,79 \pm 0,002$  mg/g y  $33,01 \pm$



0,007 mg/g, respectivamente. Evaluaron el pretratamiento con ácido sulfúrico de SMS para optimizar la extracción de azúcar por hidrólisis. Se analizó la composición próxima de SMS. Los azúcares obtenidos de SMS por fermentación con levadura de panadería y se incubaron a 30 °C durante 5 días. El rendimiento final de 1,57 g L<sup>-1</sup> de etanol se produjo el día 4 en comparación con el rendimiento teórico de etanol de 0,91 g L<sup>-1</sup> adquirido.

Mao et al., (2021), emplearon dos especies de hongos: *Ceriporiopsis subvermispota* (CS) o *Lentinula edodes* (LE) a 25 °C durante 7 semanas. Los metabolitos se analizaron por cromatografía de gases y espectrometría de masas. Los resultados mostraron que una serie de azúcares aumentaron durante la fermentación como glucosa, fructosa y manosa en las muestras tratadas con los dos hongos.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Identificación del problema

Uno de los problemas ambientales comunes, es la mala disposición de materia orgánica derivada de residuos agrícolas forestales y de cosecha. La biomasa lignocelulósica (biomasa vegetal), comprende a cualquier residuo agrícola, así como residuos forestales y desecho agroindustriales, siendo necesario aprovechar esta materia prima, aplicando procesos biológicos y termoquímicos. En la Macro Región Sur, la actividad agrícola común es el cultivo del trigo, maíz, quinua, frutales, caña de azúcar y otros, estos generan grandes cantidades de residuos de cosecha y no son aprovechados adecuadamente. Actualmente los agricultores realizan quemas o mala disposición de estos, que conllevan a la contaminación hídrica, atmosférica por la quema, la polución, degradación de suelos, muerte y migración de la fauna silvestre y pérdida de bosques y pastos. Asimismo, el principal recursos energético, el petróleo, se está agotando en todo el mundo (Energy Bulletin, 2010). En la actualidad el consumo de combustible derivados de fuentes fósiles son los mayores generadores de CO<sub>2</sub> y otros gases del efecto invernadero. La quema de biomasa es una práctica agrícola tradicional, siendo ésta la forma más económica de eliminarlos. La quema de la biomasa, es una de las fuentes más grandes de material particulado y gases de la combustión. Estos contaminantes de la atmosfera están relacionados con enfermedades respiratorias y con riesgos de enfermedades pulmonares. La biomasa lignocelulósica que forma parte de los vegetales (pastos, madera y residuos de cultivo), ofrecen la posibilidad de una fuente de azúcares renovables que se pueden convertir en etanol y otros compuestos. Por lo que es necesario buscar recursos alternativos y renovables para satisfacer la demanda cada vez mayor de energía. El etanol puede derivar de materia prima como el azúcar, maíz y residuos celulósicos. Pero el uso de la biomasa no comestible como son los residuos de celulosa en forma de paja de trigo, rastrojo de maíz, otros residuos de forraje y desechos de madera podrían cosecharse y procesarse de manera sostenible. La fermentación en fase sólida por microorganismos se presenta como una alternativa promisoría, para disminuir la dependencia de los recursos fósiles (carbón, gas y petróleo). Por lo cual se plantean las siguientes interrogantes:

## 2.2 Enunciados del problema

### 2.2.1 Problema general

- ¿Cuál es el efecto de la fermentación de residuos agrícolas con micelio de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* en el contenido de proteínas, azúcares reductores y fibra cruda?

### 2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra como efecto de la fermentación del marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua con *Pleurotus ostreatus*?
- ¿Cuál es el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda como efecto de la fermentación del marlo de maíz, tallos de trigo, y rastrojo de quinua con *Ganoderma lucidum*?

## 2.3 Justificación

La biomasa lignocelulósica es un recurso abundante y renovable procedente de las plantas, siendo su composición principal la celulosa, hemicelulosa y lignina y la porción no comestible no interfiere con el suministro de alimentos. Por lo que, estos residuos biodegradables podrían utilizarse como sustrato para ser tratado biológicamente, representarían un valioso recurso de proteínas, azúcares reductores, compostaje y otros metabolitos secundarios

La fermentación en estado sólido de la paja de trigo, marlo de maíz y rastrojo de quinua con *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*, podrían ser una alternativa para la adición de proteínas al producto fermentado y destinarse para alimentación de animales menores como el cuy, aves, cerdo y otros, así como para animales mayores como el ganado vacuno, camélidos, ovino y otros. La fermentación en estado sólido de estos residuos agrícolas es de fácil manejo, bajo costo, debido a que no se requiere equipos de incubación, ya que estos hongos se adaptan a amplios rangos de temperatura ambiente; por lo que la fase de incubación se puede realizar a temperatura ambiente con baja iluminación. Con respecto al cultivo del micelio de estos hongos, se ha probado también

en medios de cultivo modificados a base de cerveza, extractos de plantas e infusiones de papa, como alternativa al uso de medios de cultivo comercial.

La fermentación está relacionada con la descomposición y/o biotransformación de sustratos complejos en productos, siendo esta técnica, una propuesta para la buena gestión de estos desechos, que aún queda pendiente como una tarea social y de gobernanza. Este proyecto es viable y sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental, porque permitirá usar la tecnología de fermentación, para el tratamiento de desechos agrícolas, como fuente de suministro para alimentación de animales y compost. En la fermentación en estado sólido (SSF) el empleo de hongos tiene muchas ventajas, debido a que, requieren una cantidad baja de humedad, fácil manejo y bajo costo durante el proceso. Esta investigación permitirá valorizar los residuos agrícolas como materia prima para su fermentación por dos especies de Basidiomicetos: *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*.

En Apurímac la cadena productiva de cuyes (*Cavia porcellus*), como fuente de alimentación (autoconsumo) y comercio está muy difundida. Su crianza familiar es muy difundida en la región y el forraje verde constituye la fuente principal de alimentación, no teniéndose muchas veces la posibilidad de acceder a los alimentos balanceados por su elevado costo. Los resultados de este proyecto permitirán validar y generar un modelo alternativo de alimentación de animales a nivel regional y nacional, estos ensilados fermentados podrían mejorar las características productivas del cuy (ganancia de peso y rendimiento de carcasa). Motivos por los cuales en la presente investigación se propone el uso de las dos especies de hongos de la pudrición blanca (*Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*), por su excelente capacidad para degradar residuos agrícolas como el marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua mediante la fermentación en estado sólido, como una alternativa para producción de proteínas y reducción de la fibra, esta última permitirá mejorar la digestibilidad.

## 2.4 Objetivos

### 2.4.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la fermentación de residuos agrícolas con *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* en el contenido proximal de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda.

### 2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda en marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua, fermentados con micelio de *Pleurotus ostreatus*.
- Determinar el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda en marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua, fermentados con micelio *Ganoderma lucidum*.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general

- La fermentación de residuos agrícolas con *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* incrementó el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda.

### 2.5.2 Hipótesis específicas

- El contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda, como efecto de la fermentación del marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua con micelio de *Pleurotus ostreatus*, incrementó significativamente.
- El contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda como efecto de la fermentación del marlo de maíz, tallos de trigo, y rastrojo de quinua con micelio de *Ganoderma lucidum*, se incrementó significativamente.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de estudio

La presente investigación se desarrolló en la Región de Apurímac, provincia de Abancay distrito de Tamburco, presenta un clima generalmente cálido y templado, temperatura mínima 4 y máxima 20°C, precipitación promedio 179,02mm/mes; humedad 70 a 80%, latitud -13,63 y altitud 2750 msnm (PACCPERÚ, 2012). La actividad económica más importante es la agricultura con el 24%, los servicios gubernamentales con el 20,9%, comercio con 12,3%, producción minera con solo 6,4% contribuye a la economía del departamento (ENDES, 2020). La primera etapa experimental se realizó en el laboratorio de Microbiología y Laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. La segunda etapa referido a la caracterización de proteínas totales, azúcares reductores y fibra se realizó en La Molina Calidad Total Laboratorios de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

#### Figura 3

*Sede central, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac,*



Fuente: <https://www.google.com.pe/maps/place/Aulas+Generales>

#### 3.2 Población

Para el enfoque cuantitativo, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Selltiz, 1974).

La población de estudio estuvo constituida los residuos de cosecha, como los tallos de trigo procedentes de la comunidad de Saywite, distrito de Curahuasi- Abancay; el marlo de maíz del distrito de Toraya, provincia de Aymaraes y rastrojo de quinua de la comunidad de Cuytape. distrito de Kishuará, provincia de Andahuaylas.

### 3.3 Muestra

Asimismo, Hernández et al., (2014) expresa que, para el proceso cuantitativo, la muestra: “es un subgrupo de la población de interés (sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión), éste deberá ser representativo de la población”.

Las muestras para los análisis se obtuvieron de la fermentación con micelio de *Pleurotus ostreatus* de residuos de cosecha a base de marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua y muestras fermentadas de los tres residuos mencionados con micelio del hongo *Ganoderma lucidum*. El período de incubación para todos los residuos, fue durante 10, 20 y 30 días. Para los análisis de laboratorio, las muestras se sujetaron a un muestreo no probabilístico mediante la técnica por conveniencia según los requerimientos de la metodología de análisis.

### 3.4 Método de investigación

Esta investigación es de tipo experimental cuantitativo, debido a los cambios y modificaciones que producirá la manipulación de variables independientes (el tiempo de fermentación, los dos inóculos y los tres tipos de sustrato), mediante pruebas de laboratorio en la variable respuesta (como la caracterización proximal del contenido de proteínas, fibra cruda y azúcares reductores).

### 3.5 Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

#### a. Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

##### Variable independiente:

X1: Tiempo de fermentación (tres tiempos de incubación: 10, 20 y 30 días)

X2: Inóculos (micelio de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*)

X3: Tipos de sustratos (marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua)



**Variable dependiente:**

Y1: Contenido de proteínas totales

Y2: Contenido de azúcares reductores

Y3: Contenido de fibra

**Variables intervinientes:**

Temperatura de fermentación: Temperatura ambiente (17 a 18 °C)

Humedad de sustratos: 60%

**b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos, entre otros.**

**Material biológico:**

- Cultivo puro de micelio de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*.
- Residuos de cosecha: marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua
- Salvado de trigo

**Material de laboratorio:**

- Placas Petri 15x20mm para la elaboración del medio de cultivo PDA
- Tubos de ensayo con tapa borosilicato 15x150, para conservación de cepas en refrigeración.
- Frascos Boeco transparente, con tapa de 500cc para producir la semilla primaria a base de trigo entero, resistentes a la esterilización comercial a 121°C x 15 lb por 40 minutos.
- Bolsas autoclavables, para esterilizar material contaminado

**Medios de cultivo y reactivos:**

- Agar Papa Dextrosa, de Laboratorio Merck, un medio de cultivo comercial liofilizado y selectivo para el aislamiento y siembra de los hongos.
- Alcohol 70°, para la desinfección de manos durante la etapa de procesamiento

- Agua destilada químicamente pura, para uso en la elaboración de medios de cultivo y uso de la autoclave.
- Hipoclorito de sodio al 3% para desinfección de mesas de trabajo y pisos

### **Equipos:**

- Incubadora marca Binder, capacidad 50 L, para la incubación del micelio de los hongos.
- Cámara de flujo laminar, Marca Labconco, con fuente de rayos UV y flujo de aire constante, para los trabajos en condiciones asépticas durante la preparación de medios de cultivo.
- Estufa de convección forzada, marca JSR, capacidad 60 L., para el secado de muestras.
- Molino, marca Retsch GM200 para molienda.
- Destilador de agua, marca SI ANALYTICS, para la obtención de agua destilada.
- Autoclave vertical, marca Farmarel Laboratorio, con capacidad 55 L., modelo FV5055, para esterilizar los materiales, medios de cultivo y los sustratos.
- Balanza electrónica de 1.5kg, sensibilidad 0.01g.
- Mechero Bunsen con suministro de gas propano, para mantener un radio de esterilidad y permitió el trabajo durante la dispensación de medios de cultivo en tubos y placas petri.

### **3.5.2 Etapa I: Producción de micelio de *P. ostreatus* y *G. lucidum***

En esta investigación se empleó la fase vegetativa o micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum*, estos se adquirieron de la colección micológica del Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. El micelio de los dos hongos fueron mantenidas en refrigeración en tubos de ensayo a 4°C en el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa según recomendaciones de Yan et al., (2022).

En condiciones asépticas y cerca al mechero bunsen se procedió el repique del micelio a partir de tubos de ensayo con ayuda de un asa de siembra a placas petri conteniendo Agar Papa Dextrosa, un medio de cultivo comercial, (Lab.Merck), este medio de cultivo se usó de acuerdo a las recomendaciones de Zhai et al., (2015).

Los cultivos de placas petri se dejaron en incubación a 25 °C, durante 10 a 12 días, evaluándose a las 72 horas para descartar algún tipo de contaminación. Las placas fueron codificadas con fecha de incubación, el tipo de cepa y nombre del medio de cultivo.

La incubación de las placas se dejó hasta el completo desarrollo del micelio en toda superficie de las placas Petri. Estos fueron usados para la preparación de la semilla o spaw para la fermentación de los residuos de cosecha.

### **Preparación de la semilla del hongo**

La semilla o spaw se elaboró a partir de granos de trigo entero, previamente limpiados y lavados e hidratados durante 24 horas y una precocción de 10 a 15 minutos, según Machado et al., (2016), finalmente se escurrieron y ocrearon y fueron adicionados con 5% de salvado de trigo y acondicionados 200g en frascos de vidrio y se esterilizaron en autoclave a 121 °C durante 20 minutos.

Después de enfriar los frascos, se inocularon con pequeños 2 trozos (2cm<sup>2</sup>) de micelio de los hongos procedentes de las placas con PDA. Los cultivos se mantuvieron a 25 °C, en ausencia de luz, hasta completar el crecimiento del micelio blanco sobre los granos de trigo (Yan et al., (2022).

### **Preparación y condiciones de fermentación de los residuos agrícolas**

Los residuos agrícolas empleados en la investigación fueron: Marlo de maíz amiláceo de valle (MM), Tallos de trigo variedad Blando (TT), y rastrojo de quinua variedad Blanca de Junín (RQ), fueron seleccionados y sometidos a un proceso de secado mediante la exposición directa a la radiación solar, hasta que se vieran físicamente secos, posteriormente los sustratos fueron seleccionados y picados a 2 cm de tamaño aproximadamente, mediante una picadora de forraje. El

procedimiento para la preparación de marlo de maíz, tallos de trigo y rastrojo de quinua es la siguiente:

### **Pretratamiento mecánico de los residuos lignicelulósicos**

Para el picado de los residuos agrícolas se utilizó un picador de forraje con motor a gasolina, con la finalidad de reducir el tamaño y aumentar la superficie para una mejor colonización del micelio durante la fermentación con los hongos, según recomendaciones de Melanouri et al., (2021) y Talebnia et al., (2010).

Seguidamente los residuos se lavaron con agua con la finalidad de remover el polvo y tierra, se dejaron en agua durante 24 horas, con la finalidad hidratar. Se dejaron escurrir y orear los sustratos por 2 horas aproximadamente.

### **Tratamiento térmico de residuos lignicelulósicos**

Se prepararon un total de 27 bolsas con sustrato para ser inoculadas con *P. ostreatus* y 27 bolsas con sustrato para ser inoculadas con *G. lucidum*. Cada una de las bolsas fueron rotuladas con el tipo de sustrato, fecha, cantidad y nombre del hongo.

Una vez hidratados y oreados los residuos agrícolas se acondicionaron 700 g de cada sustrato con 5% de salvado de trigo como fuente de nitrógeno, estas mezclas se colocaron en bolsas de polietileno de alta densidad de 1 kg de capacidad. Los sustratos se esterilizaron a 121°C durante 60 minutos según recomendaciones de Stoffel et al., (2019). Culinado el proceso de tratamiento térmico se dejaron enfriar.

### **Inoculación y fermentación en estado sólido de residuos agrícolas**

Una vez enfriados a temperatura ambiente las bolsas con los sustratos estériles, y cerca de un mechero Bunsen, tomando en cuenta las condiciones de higiene y equipos de protección primaria, se inocularon los sustratos con 15 g de la semilla o spaw con cada especie de hongo (elaborada con trigo entero impregnado con micelio de cada especie de hongo) y se incubaron a temperatura ambiente (17 a 18°C) en ausencia de luz según Kang et al., (2017), durante 10, 20 y 30 días.

Las muestras fueron cosechadas en cada periodo de tiempo, para el análisis respectivo (proteína, azúcares reductores y fibra cruda). luego fueron secadas a 50 °C/ 48 horas, en estufa por convección forzada marca Venticell, H.W.Kessel S.A. Seguidamente, se molieron en un molino de cuchillos marca Retsch GM 200 y ser acondicionadas en taper de plástico con tapa de 1kg, previo rotulado, para ser enviadas a La Molina Calidad Total Laboratorios de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

### **3.5.2. Etapa II: Métodos analíticos**

Todas las muestras fermentadas y no fermentadas fueron acondicionadas en un molino Retsch GM200 para su molienda, envasados en táper de plástico con tapa y empacados para su envío a La Molina Calidad Total Laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **Metodología para determinación de proteínas totales**

Método Kjeldahl, AOAC 978.04. Cap. 3, pág. 28, 21 st. Edition 2019 (Baars, 2000) por digestión con ácido sulfúrico y posterior destilación y titulación con equipo semiautomático. Los resultados son expresados en g/ 100g de muestra original en base seca.

#### **Metodología para determinación de azúcares reductores**

Los azúcares reductores liberados por la fermentación en fase sólida de los residuos agrícolas se determinó por el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS), según el método de Miller (Miller, 1959), en tubos de ensayo de 10 ml se adicionaron 0,5 ml de cada muestra previamente diluida con 0,5 ml del reactivo de DNS. Los tubos se colocaron en baño maría a 100 °C por 5 min. Se enfriaron hasta temperatura ambiente y se añadieron 5 ml de agua destilada. La lectura se realizó a 540 nm en espectrofotómetro UV. Los resultados se expresados en g/100g. La concentración de azúcares reductores se determinó utilizando una curva de calibración absorbancia en función de concentración.

#### **Metodología para la determinación de fibra cruda**

La fibra cruda se determinó mediante digestión ácido-base, según la metodología (Thiex et al., 2012; AOAC, 2005), Se determinó mediante la NTP 209.173:1999 (Revisada al 2019). El contenido de fibra cruda se determinó mediante digestión de las muestras alrededor de 2 gramos con  $H_2SO_4$  al 1,25% y se calentó a ebullición durante 30 minutos. Se procedió a filtrar y lavar el residuo con agua destilada caliente. Seguidamente se agregó 250 ml de NaOH al 1,25% y se volvió a calentar a ebullición en un matraz durante 30 minutos, el residuo resultante se lavó con agua destilada caliente y luego con etanol. Finalmente se secó en estufa por 15 min a  $105^{\circ}C$ , se enfrió y se determinó la fibra cruda en base seca en g/100g.

**c) Aplicación de prueba estadística inferencial.**

Para el contraste de la hipótesis planteada en la investigación y la comprobación de las diferencias o no diferencias significativas entre las unidades experimentales, se emplearon el Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 95%, ( $P \leq 0,05$ ) y para la comparación múltiples de medias individuales, se usaron la prueba de Tukey, con un 95% de significancia. Para el procesamiento de datos de resultados se utilizó el software R versión 4.1.3.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 Composición proximal de los residuos de cosecha fermentadas con micelio de *Pleurotus ostreatus*.

La composición proximal de proteínas, azúcares reductores y fibra cruda en marlo de maíz (MMFP), tallo de trigo (TTFP) y rastrojo de quinua (RQFP) fermentadas con micelio de *Pleurotus ostreatus*, se resume en la Tabla 2.

Con respecto al contenido de proteínas, en los tallos de trigo fermentados con micelio de *P. ostreatus* (TTFP), a los 10, 20 y 30 días de incubación, muestra diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), siendo el día 30, el que, resultó con mayor valor (8,66g/100g), mostrando un incremento significativo en 55,31% más de proteína con respecto al testigo 3,87g/100g. (TT).

El contenido proteico en el marlo de maíz fermentado con *P. ostreatus* (MMFP), a los 30 días de incubación, presentó 5,70g/100g, incrementándose en 42,46% más, con respecto al testigo (3,28g/100gbs), mostrando diferencias significativas al ANOVA ( $P < 0,05$ ). Se precisa que no, existe diferencias significativas ( $P > 0,05$ ) entre los 10 y 20 días de incubación.

El contenido de proteínas en el rastrojo de quinua fermentado con micelio del hongo *P. ostreatus* (RQFP) a los 30 días, también se incrementó de 10,40g/100g (testigo) hasta 14,48 g/100g bs., que representa un 28,18% con respecto al testigo.

Con respecto al contenido de fibra cruda, se mostró también una disminución significativa ( $P < 0,05$ ), durante el tiempo de fermentación con el micelio de *Pleurotus ostreatus* en los tres sustratos. La fibra en los residuos MM, TT y RQ (testigos) la fibra cruda fue 26,71, 36,27 y 26,13g/100g, respectivamente; estos valores disminuyeron gradualmente durante el transcurso del tiempo de incubación hasta 23,51(MM), 27,73 (TT) y 16,60g/100 (RQ) al día 30 de incubación.

El contenido de azúcares reductores en los tres residuos fermentados con *P. ostreatus*, mostraron una reducción progresiva altamente significativa durante los tres periodos de incubación en los tres sustratos. Los resultados indican que las muestras de MM y TT (testigo) contenían 7,23g/100g y 7,26g/100g de azúcares reductores respectivamente, sin embargo, estos valores disminuyen a 1,57 y 1,49g/100g a los 30 días de incubación. En el RQ (testigo) el contenido de azúcares es de 1,89g/100g, mostrando un incremento a los 20 días de incubación hasta 4,70g/100g.

La prueba ANOVA ( $P < 0.05$ ), permitió comparar y mostrar las diferencias estadísticamente significativas en el contenido de proteínas, entre las muestras fermentadas y no fermentadas, demostrándose que, a los 30 días de fermentación en los TTFP las proteínas se incrementaron en 8,66g/100gbs, superando al testigo (3,87g/100gbs); en el MMFP el incremento de las proteínas a los 30 días de fermentación fue en 42,46% con respecto al testigo y en el RQFP las proteínas se incrementó en 28,18% frente al testigo RQ.

**Tabla 2**

*Resultados de análisis proximal de residuos agrícolas control y fermentadas con Pleurotus ostreatus*

| Caracterización proximal     | Sustratos | Testigo Sin fermentar      | Tiempo de fermentación (días) |                            |                            |
|------------------------------|-----------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                              |           |                            | 10                            | 20                         | 30                         |
| Proteínas (g/100g)           | MM        | 3,28 ± 0,02 <sup>aA</sup>  | 5,47 ± 0,17 <sup>bB</sup>     | 5,41 ± 0,08 <sup>bA</sup>  | 5,70 ± 0,04 <sup>cA</sup>  |
|                              | TT        | 3,87 ± 0,09 <sup>aB</sup>  | 4,94 ± 0,04 <sup>bA</sup>     | 5,68 ± 0,05 <sup>cB</sup>  | 8,66 ± 0,14 <sup>dB</sup>  |
|                              | RQ        | 10,42 ± 0,07 <sup>aC</sup> | 11,30 ± 0,05 <sup>bC</sup>    | 12,49 ± 0,05 <sup>cC</sup> | 14,48 ± 0,23 <sup>dC</sup> |
| Azúcares reductores (g/100g) | MM        | 7,23 ± 0,02 <sup>dB</sup>  | 6,85 ± 0,06 <sup>cC</sup>     | 3,81 ± 0,08 <sup>bB</sup>  | 1,57 ± 0,02 <sup>aB</sup>  |
|                              | TT        | 7,26 ± 0,08 <sup>dB</sup>  | 2,13 ± 0,04 <sup>cA</sup>     | 1,93 ± 0,02 <sup>bA</sup>  | 1,49 ± 0,05 <sup>aAB</sup> |
|                              | RQ        | 1,89 ± 0,02 <sup>bA</sup>  | 4,24 ± 0,03 <sup>cB</sup>     | 4,70 ± 0,02 <sup>dC</sup>  | 1,44 ± 0,02 <sup>aA</sup>  |
| Fibra cruda (g/100g)         | MM        | 26,71 ± 0,09 <sup>cB</sup> | 26,19 ± 0,09 <sup>cB</sup>    | 25,01 ± 0,46 <sup>bB</sup> | 23,51 ± 0,69 <sup>aB</sup> |
|                              | TT        | 36,27 ± 0,13 <sup>dC</sup> | 34,99 ± 0,43 <sup>cC</sup>    | 31,31 ± 0,36 <sup>bC</sup> | 27,73 ± 0,13 <sup>aC</sup> |
|                              | RQ        | 26,13 ± 0,13 <sup>dA</sup> | 23,90 ± 0,61 <sup>cA</sup>    | 20,19 ± 0,05 <sup>bA</sup> | 16,60 ± 0,09 <sup>aA</sup> |

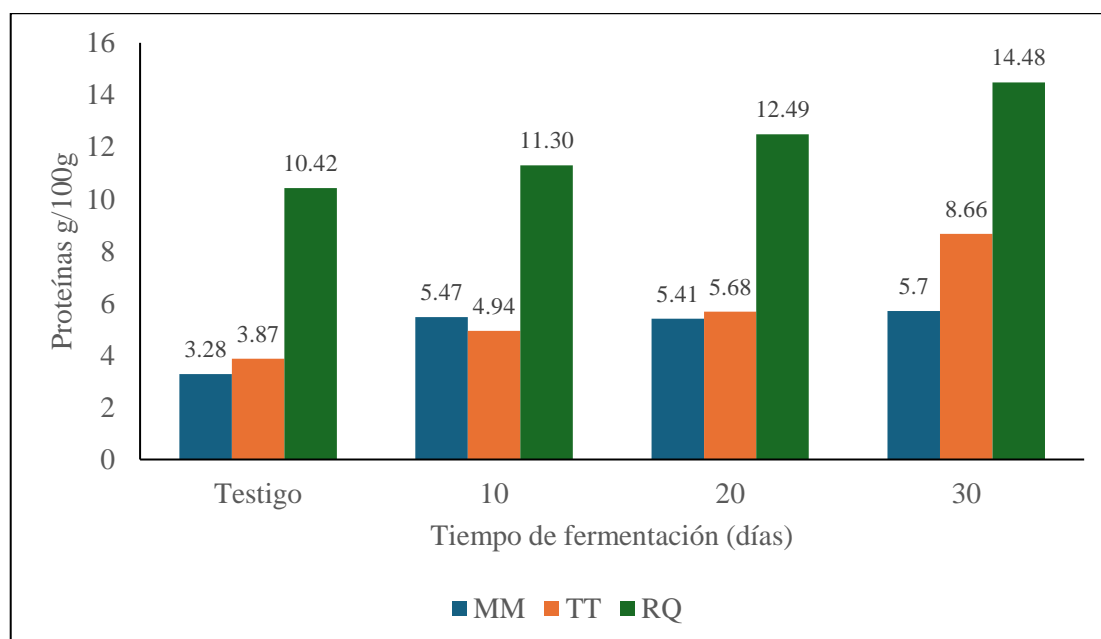
*Nota.* MM: Marlo de maíz. TT: Tallos de trigo. RT: Rastrojo de quinua. Valores promedio de 3 determinaciones independientes ± error estándar ( $p < 0.05$ ). Letras diferentes en minúscula indican diferencia significativa durante el periodo de fermentación y letras diferentes en mayúscula indican diferencia significativa entre tipos de sustrato.



En la Figura, 4 se observa el contenido de proteínas en los tres sustratos testigo (MM, TT y RQ), estas muestras sin fermentar expresan valores menores a los sustratos fermentados con micelio de *P. ostreatus*, en los diferentes tiempos de incubación (10, 20 y 30 días). Los resultados revelan que en los TTFP a los 30 días de incubación el contenido de proteínas ( $8,66 \pm 0,14\text{g}/100\text{g}$ ), este valor se incrementó significativamente en 55,31% más, con respecto al testigo  $3,87 \text{ g}/100\text{g}$ . Según Obi et al., (2016) la aplicación de fermentación en estado sólido es de gran utilidad para convertir diferentes residuos agrícolas, agroforestales y agroindustriales en proteínas, enzimas ácidos orgánicos, bioetanol, y otros metabolitos secundarios. Bisaria et al., (1997);Peiji et al., (1997), indican que, durante la fermentación, los microorganismos producen enzimas para degradar los componentes de la pared celular y sintetizar proteínas. Los hongos degradan el sustrato mediante sus enzimas y el primer signo de crecimiento del micelio se observa después de los 2 a 3 días de la inoculación (Patel et al., 2009). Asimismo, Shrivastava et al., (2014) en su investigación, fermentaron la paja de trigo con el hongo *Crinipelis sp.*, demostraron, un incremento significativo de 14,31% en el contenido de proteínas totales en el décimo día de incubación, la paja no fermentada contenía solo 2,95% de proteínas totales, el contenido de fibra cruda 53,74%.

#### Figura 4

Contenido de proteínas en tres residuos agrícolas fermentadas con *P. ostreatus*



En nuestra investigación en el TT testigo, el contenido de proteínas fue  $3,87 \pm 0,09\text{g}/100\text{g}$  bs. Este resultado concuerda con Melanouri et al., (2021), quienes determinaron que la paja de trigo, contenía 4.06% de proteína, celulosa 30,73%, hemicelulosa 24,20% y lignina 5,65 % bs. De acuerdo Darwish et al., (2012) la bioconversión de tallos de maíz mediante fermentación en estado sólido con *P. ostreatus*, durante 28 días de incubación, los resultados revelaron un aumento significativo ( $P < 0,05$ ) del contenido de proteínas (9,9%), en comparación con el control, (tallos de maíz sin tratar 3,60%); el contenido de fibra cruda disminuyó en todos los tratamientos observándose una disminución significativa de 42,15% a 29,61%.

El contenido de lignina en los tallos de trigo es bastante inferior con respecto al marlo de maíz y rastrojo de quinua, siendo este un factor muy importante para la colonización del micelio en los TT. Al respecto Melanouri et al., (2021), reporta que, el contenido de lignina en el marlo de maíz es 11,92% bs. La lignina un componente importante de la pared celular vegetal, actúa como barrera a la hidrólisis de la celulosa.

En el MM testigo se encontró 3,28g/100g de proteínas; según Melanouri et al., (2021) el contenido de proteínas en el marlo de maíz es aproximadamente 6,69 % en base seca, el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina hallados corresponden a 41,22, 36,96 y 11,92 (%bs) respectivamente.

Los resultados de la investigación demostraron que, los contenidos de proteínas en el TTFP, MMFP y RQFP al día 30 de incubación se incrementaron en 55,31%, 42,46% y 28,18% respectivamente, frente a los testigos (TT, MM y RQ). El RQFP muestra un menor incremento de proteínas, con respecto a los dos sustratos fermentados. Un factor limitante al desarrollo del micelio en los residuos de quinua, podría atribuirse a restos de saponina. Al respecto señalan que, la saponina tiene efectos antifúngicos y su presencia está implicado a la resistencia de las plantas al ataque de hongos (Abdelrahman et al., 2017; Papadopoulou et al., 1999), mencionan que la toxicidad de las saponinas juegan un papel importante en la defensa de las plantas; actuando como mecanismos de resistencia a insectos y con propiedades antifúngicas frente al ataque de hongos. Las plantas son capaces de producir muchos compuestos de defensa como saponinas, alcaloides, glucósidos y esteroides (Khan et al., 2018). En su investigación Lim et al., (2020), evaluaron el contenido total de saponina de varias partes de la planta de quinua, los resultados en las hojas fue 0,97g/100g, la raíz presentó la mayor cantidad de saponina con

13,39g/100g, los tallos 1,29g/100g y en el pericarpio 1,60g/100g. Por lo que estos contenidos de saponina en las diversas partes de la planta podrían tener efectos en el desarrollo del micelio de las dos especies de hongos, motivo por el cual el contenido de proteínas fue menor.

Según (Rogosic et al., 2008), en los mamíferos, los efectos negativos de la saponina se han asociado con el consumo, la digestibilidad, disminuyendo la viabilidad como forraje. Shah et al., (2020) mencionan que, para mejorar la calidad y su digestibilidad como forraje de las plantas de quinua, el contenido de la fibra detergente neutra (compuesta por FDA más hemicelulosa) y la fibra detergente ácida (compuesta por celulosa y lignina) deben mantener en niveles más bajos. (Nigam et al., 2009) señala que la degradación de la lignina por los hongos de pudrición blanca, permite un mejor acceso a los componentes de celulosa y hemicelulosa. Se cree que tres enzimas están involucradas en la biodegradación lignolítica, como la peroxidasa de lignina (LiP), la peroxidasa de manganeso (MnP) y la lacasa.

Con todo lo expuesto, el micelio de *P. ostreatus* en los tres sustratos tuvo un mejor desarrollo y respuesta en la síntesis de proteínas y degradación de la fibra cruda. Al respecto Yang et al., (2013) mencionan que, las especies de *Pleurotus* requieren un tiempo de desarrollo corto, en comparación con otras especies. Philippoussis et al., (2001), indican que, *Pleurotus* crece a amplias temperaturas y diversidad de sustratos; y la precocidad de fructificación es mejor en la paja de trigo, debido a su proporción de celulosa y lignina, estos componentes son muy importantes en el crecimiento del micelio. Melanouri et al., (2021), también señala que, durante la fermentación, el hongo coloniza los sustratos mediante una masa vegetativa de hifas denominado micelio, toma los nutrientes y los componentes necesarios para su crecimiento.

Berber et al., (2018), en la mazorca de maíz contenido de proteínas presentó  $4,28 \pm 0,66\%$ , fibra cruda  $26,29 \pm 0,52\%$ , cenizas totales  $3,44 \pm 0,08$ , en base seca; por lo tanto, la mazorca de maíz tiene un bajo contenido de proteínas, cenizas y un alto contenido de carbohidratos. Los resultados de la investigación de (Abubakar et al., 2016), señalan que la composición proximal de la mazorca de maíz contenía fibra cruda  $33,33 \pm 0,021\%$ , el contenido de proteínas fue de  $4,19 \pm 0,1\%$ .

Khonkhaeng y Cherdthong, (2020), en su investigación, sobre la mejora del valor nutritivo de residuos de maíz morado con *P. ostreatus*, demostró que el contenido de

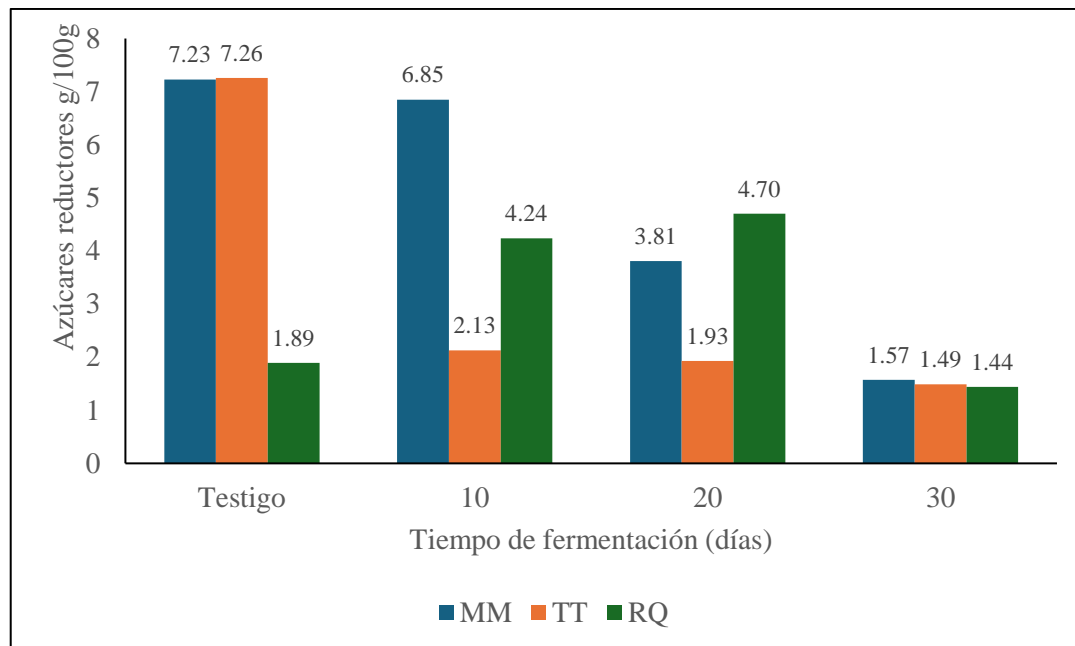
proteína en la mazorca y rastrojo de maíz morado sin fermentados fue de 3,3 g/100g y 4,9g/100g y en las muestras fermentadas, la proteína incremento 4,0g/100g y 5,6g/100g respectivamente. Esto probablemente se asoció con el crecimiento de los micelios del hongo, que incrementaron la concentración de proteínas. Por otro lado Jonathan et al., (2012), indica que el tratamiento de la paja de arroz con *P. pulmonarius* aumentó el contenido de proteína de 4,5g/100g (sin tratar) a 9,36g/100g a los 40 días de fermentación.

Como se puede observar en la figura 17 y 18 (ver anexos) que en todos los tratamientos el micelio de color blanco se desarrolló durante la incubación para el caso de *P. ostreatus*, fue más precoz que el micelio de *G. lucidum*. En su estudio Atuhaire et al., (2016), señala que *Pleurotus ostreatus* es eficaz en la biodegradación de subproductos agrícolas y se ha demostrado que este hongo secreta una gran cantidad de enzimas que degradan la lignina y celulosa. Otros estudiosos como Corrêa et al., (2016), mencionan que, *Pleurotus spp.*, es un hongo de crecimiento rápido por su gran capacidad de descomponer eficientemente sustratos ricos en lignocelulosa para producir abundante biomasa fúngica, que representa una fuente de proteica. Philippoussis et al., (2001) también resalta que *Pleurotus*, un hongo de la pudrición blanca, especie, con excepcionales propiedades lignolíticas; fragmentan la celulosa, la hemicelulosa y la lignina de los residuos vegetales, mientras que los hongos de la pudrición parda solo escinden la celulosa y hemicelulosa. A todos los residuos empleados en la fermentación con *P. ostreatus*, se añadieron 5% de salvado de trigo como fuente de nitrógeno. Según Wang 2001 al investigar el cultivo de *P. ostreatus* en paja de trigo suplementado con salvado de trigo, promovió hasta en un 45% su desarrollo.

En la Figura 5, se observa el contenido de azúcares reductores en las muestras testigo (MM y TT) fueron elevados con 7,23g/100g y 7,26g/100g, pero con el transcurso del tiempo a los 30 días disminuyeron progresivamente hasta 1,57g/100g y 1,49g/100g respectivamente.

### Figura 5

Contenido de azúcares reductores en tres residuos agrícolas fermentadas con *P. ostreatus*



En nuestra investigación en el RQ (testigo) encontramos 7,26g/100g, este valor se aproxima al resultado obtenido por Podkówka et al., (2018), en su investigación evaluaron las características de idoneidad forrajera de residuos de *Chenopodium quinoa* Willd., hallaron en materia seca de residuos de quinoa 6,42% de carbohidratos solubles en agua. Durante el transcurso de la fermentación los azúcares reductores bajaron en su contenido en todos los tratamientos. Esto también concuerda con Gowthaman et al., (2001) y Lechner y Papinutti, (2006), quienes indican que el micelio del hongo libera enzimas que se difunden en el sustrato para hidrolizar los polisacáridos y consumir azúcares solubles como fuente de energía.

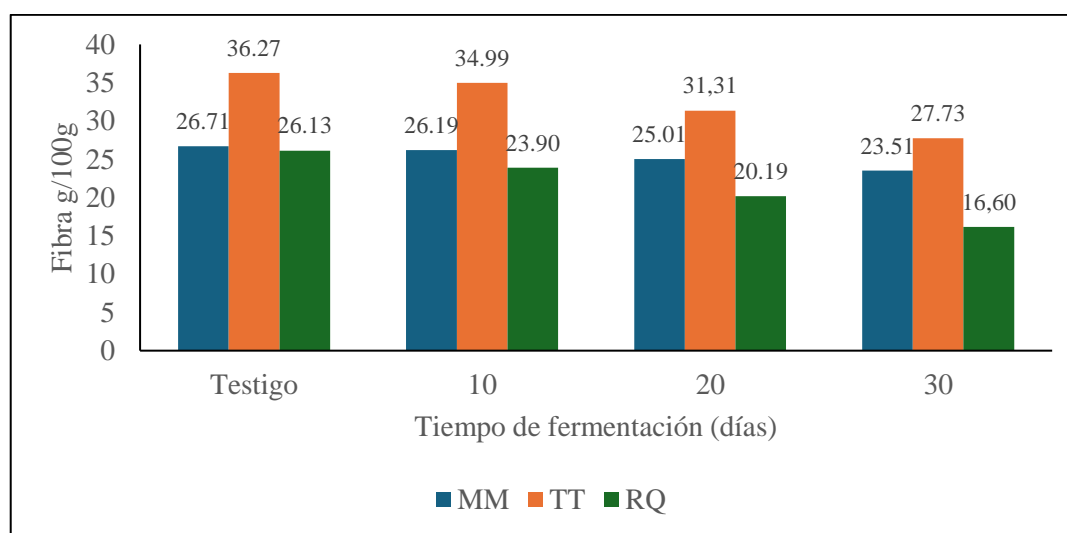
Zadrazil y Isikhuemhen, (1997), informan, que *Pleurotus ostreatus* metaboliza componentes, fácilmente solubles del sustrato para la producción de su propia biomasa durante la colonización.

Según Bidegain et al., (2018), en su trabajo de investigación sobre fermentación en estado sólido de la paja de trigo con tres cepas de *Pleurotus sp.*, con fines de producción de ensilados para alimentación animal, demostraron que, los azúcares reductores en la paja de trigo crudo (control) fue de 9,7% y los azúcares reductores en las muestras fermentadas variaron entre 3,5% a 5,8%, esta ligera reducción sería por el metabolismo del hongo.

En la Figura 6, se aprecia el contenido de fibra cruda en las muestras testigo de MM, TT y RQ, entre 26,71 36,27 y 26,13 g/100g respectivamente, con el transcurso del tiempo de incubación en las muestras fermentadas (MMFP, TTFP y RQFP), estos valores fueron disminuyendo hasta 23,51g/100g (11,98%), 27,73g/100g (23,55%) y 16,16g/100g (36,47%) a los 30 días de incubación con el micelio del hongo *P. ostreatus*, confirmándose que, durante el proceso de fermentación los hongos consumen los componentes de la fibra para producir sus metabolitos.

**Figura 6**

*Contenido de fibra cruda en tres residuos agrícolas fermentadas con P. ostreatus.*



Gupta y Jana, (2019), investigaron la composición de la paja de trigo nativo, concluyendo que, contiene celulosa, hemicelulosa y lignina ( $35,97 \pm 1,71$   $24,92 \pm 1,0$  y  $22,98 \pm 1,10$  g/100g, la fermentación dio como resultado una degradación significativa de los componentes de la biomasa debido al metabolismo del hongo, la disminución del contenido de fibra podría atribuirse a la excreción de enzimas extracelulares que permitieron degradar durante la fermentación (Chen et al., 1995). Los hongos son capaces de descomponer la estructura lignocelulósica de la mazorca de maíz en componentes más simples (Dewi et al., 2022). Al respecto, Langer et al., (2021), indican que, los hongos de la pudrición blanca, atacan inicialmente a la lignina, degradándola de manera efectiva, debido a la producción de enzimas oxidativas extracelulares lignolíticas, (lacasa, mangneso peroxidasa y lignina peroxidasa), responsables también de la descomposición de la hemicelulosa y la celulosa, dejando residuos de madera de textura fibrosa. Por otro

lado Zadrazil y Isikhuemhen, (1997); Akinfemi et al., (2008), señalan que, la disminución del contenido de la fibra cruda podría atribuirse a la excreción de enzimas extracelulares como la celulasa, para degradar la fibra según Baskota y Islam, (2017), el bajo contenido de fibra (FDN y FDA) conducen a una mejor digestibilidad del forraje, mientras que los niveles altos de fibra disminuyen la digestibilidad. Asimismo, Obeng et al., (2017); Valdés et al., (2020) y (Urban, 2017) menciona que, *P. ostreatus*, extrae sus nutrientes de los sustratos (residuos agrícolas, madera, pasto) a través del micelio, obteniendo los nutrientes necesarios para su crecimiento. Según (Savoie et al., 2007), obtuvieron mayor actividad de lacasa durante la etapa de colonización, que durante la etapa reproductiva del hongo, la producción de la enzima manganeso peroxidasa también presentó niveles elevados durante la etapa de colonización del micelio.

#### 4.1.2 Composición proximal de los residuos de cosecha fermentadas con micelio de *Ganoderma lucidum*

En la Tabla 3, se describen los resultados de la composición proximal del contenido de proteínas, azúcares reductores y fibra cruda en tres residuos de cosecha (MM, TT y RQ), después del proceso de fermentación con el hongo *Ganoderma lucidum*, durante 10, 20 y 30 días de incubación. Los valores de los componentes se incrementaron progresivamente con el transcurso del tiempo de fermentación, con respecto a las muestras sin fermentar (testigos). La fermentación fúngica con *G. lucidum*, provocó un aumento significativo del contenido de proteínas totales en los TTFG (tallos de trigo fermentados con *Ganoderma*), con el transcurso del periodo de incubación incrementaron gradualmente de 5,26; 5,66 y 7,75 g/100g (10, 20 y 30 días) respectivamente; incrementándose las proteínas en el TT a los 30 días en un 50,06% más, con respecto al testigo 3,87g/100g. (MM).

El contenido de proteínas en el MMFG, durante los tres tiempos de incubación también, muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); a los 30 días de fermentación, se obtuvo 5,85g/100g, incrementándose en un 43,93% más con respecto al testigo (3,28g/100g). El RQFG (rastrojo de quinua fermentada con *Ganoderma*) a los 30 días de incubación presentó un 13,58g/100g, de proteínas mostrando un valor mayor en 23,27% más que el testigo (RQ).

Es necesario resaltar que el rastrojo de quinua (RQ) sin fermentar contiene un valor elevado de proteínas (10,42g/100g) que el TT (3,87g/100g) y MM (3,28g/100g) crudo.



Al respecto Ebeid et al., (2022), en su investigación acerca del valor nutritivo de la planta entera de la quinua en base seca, informaron que el análisis proximal contenía 18,6% de proteína cruda, entre los ácidos grasos más importantes el ácido eoleico, el ácido linoleico y el ácido palmítico. Concluyendo que los residuos de quinua puede ser utilizada como alimento para rumiantes y sustituto del heno de trebol. Otra investigación de González et al., (2016) cuyo objetivo fue la evaluación de plantas eliminadas de quinua y su uso forrajero. El análisis químico mostró un elevado contenido K entre 8,54% (variedad Kancolla) y 9,9% (variedad Samaranti), el contenido de proteína foliar y de tallo fue de 15,7 y 9,9% respectivamente, concluyendo que esta planta podría ser un complemento forrajero para los animales. Según Aruna et al., (2017), los cambios metabólicos que ocurren durante las fermentaciones, mejoran los componentes nutricionales y reducen los anti nutrientes como los fitatos, oxalatos, los taninos, saponinas, en los residuos de agrícolas. Mejora la biodisponibilidad y digestibilidad de los nutrientes y en consecuencia estos productos podrían ser destinados como alimento para animales (Heiniö et al., 2003).

Asher et al., (2020), en sus resultados, de un estudio realizado en cultivo de quinua sembrada entre enero de 2017 y 2018 en cuatro parcelas en Israel, donde la composición de proteína en biomasa forrajera residual de paja de quinua de dos accesiones 3 y 4E, cosechadas en el año 2017 y 2018 fueron de 7,99% 5,10% y 10,1% y 10,6 % en materia seca respectivamente. El crecimiento y la productividad de las plantas de quinua, son influenciados por la variedad, fecha de siembra y el clima; asimismo algunas proteínas juegan un papel en la respuesta al estrés abiótico, estas moléculas estimulan a las plantas a sintetizar una serie de proteínas que responde al estrés para protegerse (Wang et al., 2003). Vázquez et al., (2019) reportaron la caracterización nutricional de hojas de quinua en muestras secas en polvo, los parámetros para el contenido de proteínas fueron de  $11,8 \pm 0,6\%$  (peso seco), azúcares reductores  $3,2 \pm 0,27\%$ , el contenido de fibra cruda de  $43,7 \pm 3,9\%$  y polifenoles totales fueron  $131,8 \pm 10,3$  mg/100g.

En la Tabla 3, las letras diferentes en minúscula en el superíndice, indican que, existen diferencia significativa para las variables de contenido de proteínas, azúcares reductores y fibra cruda, durante el periodo de fermentación (10, 20 y 30 días) con el micelio del hongo *G. lucidum* en el MM y TT; y las letras diferentes en mayúscula indican diferencia significativa entre los tres tipos de sustrato a un ( $P < 0,05$ ), pero no, presentaron diferencias significativas en el contenido de proteínas entre 20 y 30 días de incubación en el RQFP.



**Tabla 3**

*Resultados del análisis proximal de residuos agrícolas control y fermentados con G. lucidum*

| Caracterización proximal           | Sustratos | Testigo Sin fermentar      | Tiempo de fermentación (días) |                            |                            |
|------------------------------------|-----------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                    |           |                            | 10                            | 20                         | 30                         |
| <b>Proteínas (g/100g)</b>          | MM        | 3,28 ± 0,02 <sup>aA</sup>  | 5,06 ± 0,06 <sup>bA</sup>     | 5,24 ± 0,04 <sup>cA</sup>  | 5,85 ± 0,10 <sup>dA</sup>  |
|                                    | TT        | 3,87 ± 0,09 <sup>aB</sup>  | 5,26 ± 0,10 <sup>bA</sup>     | 5,66 ± 0,05 <sup>cB</sup>  | 7,75 ± 0,08 <sup>dB</sup>  |
|                                    | RQ        | 10,42 ± 0,07 <sup>aC</sup> | 10,94 ± 0,14 <sup>bB</sup>    | 13,56 ± 0,03 <sup>cC</sup> | 13,58 ± 0,02 <sup>cC</sup> |
| <b>Azúcares reductores g/100g)</b> | MM        | 7,23 ± 0,02 <sup>cB</sup>  | 7,16 ± 0,14 <sup>dC</sup>     | 3,80 ± 0,02 <sup>bC</sup>  | 2,27 ± 0,06 <sup>aB</sup>  |
|                                    | TT        | 7,26 ± 0,08 <sup>dC</sup>  | 2,09 ± 0,04 <sup>bA</sup>     | 2,73 ± 0,02 <sup>cA</sup>  | 1,46 ± 0,02 <sup>aA</sup>  |
|                                    | RQ        | 1,89 ± 0,02 <sup>bA</sup>  | 2,35 ± 0,04 <sup>cB</sup>     | 3,48 ± 0,06 <sup>dB</sup>  | 1,44 ± 0,04 <sup>aA</sup>  |
| <b>Fibra cruda (g/100g)</b>        | MM        | 26,71 ± 0,09 <sup>dB</sup> | 25,72 ± 0,58 <sup>cA</sup>    | 25,06 ± 0,05 <sup>bB</sup> | 23,61 ± 0,02 <sup>aB</sup> |
|                                    | TT        | 36,27 ± 0,13 <sup>dC</sup> | 32,34 ± 0,12 <sup>cB</sup>    | 30,32 ± 0,12 <sup>bC</sup> | 26,14 ± 0,12 <sup>aC</sup> |
|                                    | RQ        | 26,13 ± 0,13 <sup>dA</sup> | 24,76 ± 0,64 <sup>cA</sup>    | 22,40 ± 0,07 <sup>bA</sup> | 19,27 ± 0,04 <sup>aA</sup> |

Valores promedio de 3 determinaciones independientes ± error estándar (P<0.05). Letras diferentes en minúscula indican diferencia significativa durante el período de fermentación y letras diferentes en mayúsculas indican diferencia significativa entre tipos de sustrato.

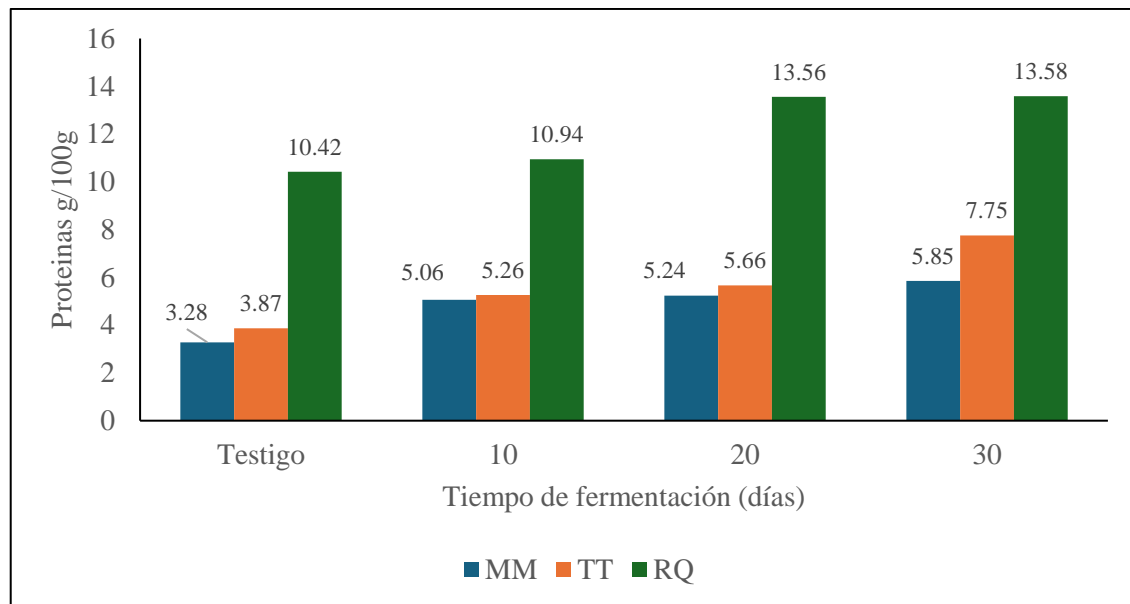
*Nota.* MM: Marlo de maíz. TT: Tallos de trigo. RT: Rastrojo de quinua

Los resultados del análisis de varianza mostraron que las fermentaciones en los diferentes períodos de incubación, en los tres tipos de sustratos con *G. lucidum* las dos especies de hongos tuvo en efecto significativo (P≤0,005) en el contenido de proteínas con respecto a las muestras no fermentadas (testigos).

En la Figura 7, los resultados del contenido proteico en las muestras de TT, MM y RQ fermentadas con micelio de *G. lucidum*, revelaron un incremento significativo (P < 0,05), en todas las muestras fermentadas, en comparación a las muestras testigo. El mayor incremento de proteínas se evaluó en el TTFG, seguido del MMFG y RQFG con 50,06%, 43,93% y 23,27% de incremento respectivamente.

**Figura 7**

*Contenido de proteínas en tres residuos agrícolas fermentadas con *G. lucidum**



Al respecto Chen et al., (1995); Yoon y Stern, (1996) indican que este incremento del porcentaje de proteínas podría atribuirse a la formación de la biomasa fúngica. Los hallazgos en la investigación de El-Rahman et al., (2014) mencionan que, la paja de trigo tratada con hongos durante 6 semanas, se incrementó la proteína cruda de 3,20g/100g a 11,62g/100g. Por otro lado (Oyetayo y Ariyo, 2013) resalta que, los sustratos empleados en el cultivo de los hongos tienen efectos sobre las características químicas, funcionales y sensoriales del producto fermentado.

Los diferentes sustratos tienen diferentes composiciones y estos tienen efectos en la producción de diferentes productos en función a su composición (Kumar Sadh et al., 2018). La mazorca de maíz es un desecho que no se aprovecha de manera sostenible, pero, la fermentación de estos desechos mejora su calidad nutricional, podrían tener un como alimentos alternativos para los animales.

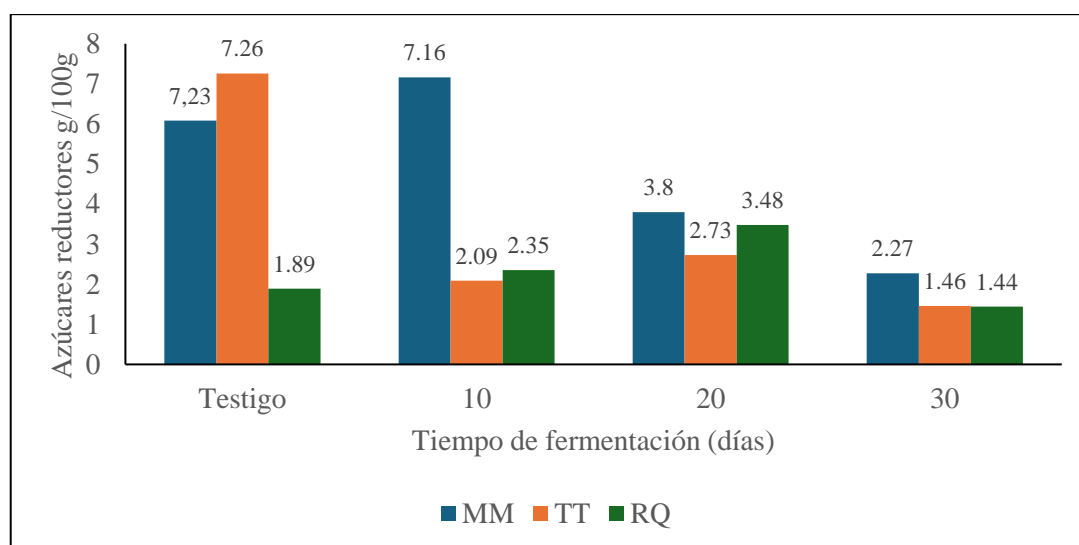
Es importante resaltar que en esta investigación se adicionó 5% de salvado de trigo como fuente de nitrógeno a los tres sustratos (MM, TT y RQ), con la finalidad de mejorar el desarrollo de los micelios durante los tres períodos de incubación. Al respecto, Donini et al., (2009), recomienda que los suplementos más utilizados son los salvados de cereales como fuente de nitrógeno orgánico, importante para el crecimiento de la masa de micelio.

D'Souza et al., (1999), investigó, que *G. lucidum* basidiomiceto de pudrición blanca, mostró mayores niveles de lacasa en cultivos agitados con alto contenido de nitrógeno (24Mm), por lo que es importante adicionar a los sustratos fuentes de nitrógeno como el salvado de trigo, soja u otras fuentes. *Ganoderma lucidum* es una especie que descompone la madera, debido a su sistema enzimático lignolítico, (Dinis et al., 2009).

En la Figura 8, se reporta el contenido de azúcares reductores donde, el TT (7,26g/100g) y MM (7,23g/100g) sin fermentar, resultaron con altos contenidos de este componente. Pero durante la fermentación a los 10, 20 y 30 días se redujeron a 1,46 y 2,27 g/100g respectivamente. Al respecto Liu et al., (2020), menciona que, el principal componente de la mazorca de maíz fue el glucano con 58,84%, por lo que los residuos de mazorca de maíz serian una buena materia prima para generar azúcares fermentables.

### Figura 8

Contenido de azúcares reductores en tres residuos agrícolas control y fermentadas con *G. lucidum*.



Mao et al., (2021), al respecto indica que, en la fermentación de paja de trigo con hongos de la pudrición blanca *Ceriporiosis subvermispora* y *Lentinula edodes* a diferentes tiempos de incubación, la acumulación de azúcares detectados podría deberse en parte a la actividad continua de las enzimas que degradan la pared celular de las plantas durante la incubación; la glucosa se originaría a partir de la celulosa. En muestra investigación los residuos de TT, MM y RQ fueron picados, remojados y tratados térmicamente durante 40 min a 121 °C. Al respecto, He et al., (2016) menciona que el pretratamiento térmico permite disolver algunos componentes lignocelulósico

permitiendo la solubilización de la hemicelulosa, convirtiéndose en oligosacáridos y monosacárido de azúcares.

Isikhuemhen y Mikiashvilli, (2009) y Nurfitri et al., (2021), informaron que la actividad de la enzima lignolítica de *P. ostreatus* durante el período de colonización del micelio (fase vegetativa), es mayor comparado con la fase reproductiva (fructificación), esto comprende aproximadamente a las 4 semanas después de la inoculación.

La hipótesis general planteada en la presente investigación: La fermentación de residuos agrícolas con *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* incrementarán el contenido de proteínas totales, fibra cruda y azúcares reductores.

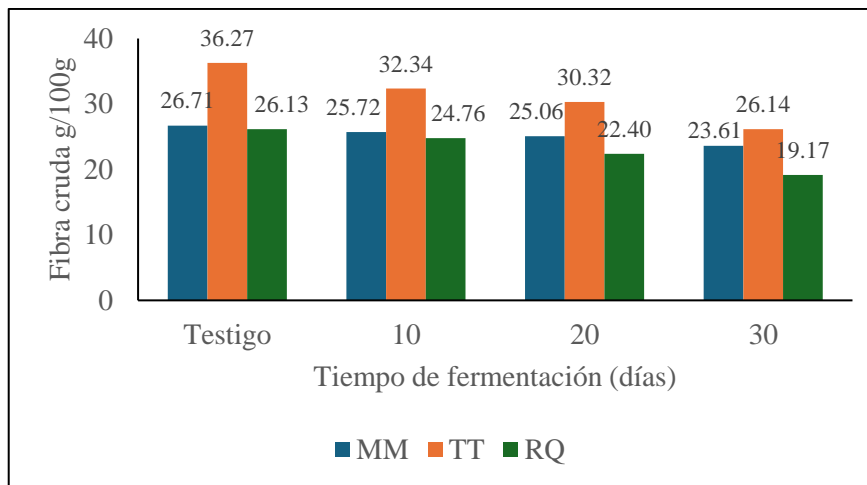
Con respecto a esta conjetura, se puede afirmar que existen diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), en el contenido promedio de proteínas entre los tres sustratos fermentados y los tres periodos de tiempo incubados (10, 20 y 30 días), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Con respecto al contenido promedio de fibra cruda y azúcares reductores, estos componentes se reducen significativamente ( $P < 0,05$ ) en los tres sustratos fermentados, con el transcurso de la incubación durante 10, 20 y 30 días y las muestras testigo. Por lo mencionado también se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

En la Figura 9, Los resultados del contenido de la fibra cruda en TT, MM y RQ (testigos) fueron 36,27g/100g; 26,71g/100g y 26,13g/100g respectivamente. Estos valores durante los tres periodos de incubación se redujeron a 26,14 (27,93%); 23,61 (11,61%) y 19,27g/100g (26,25%) al día 30 de fermentación con micelio de *G. lucidum*.

**Figura 9**

*Contenido de fibra cruda en tres residuos agrícolas fermentadas con *G. lucidum**



La fibra cruda en el MM de maíz sin fermentar fue de 23,61g/100g. La fibra cruda es insoluble en agua, siendo el principal componente de la estructura de la pared celular vegetal, está formado por celulosa, hemicelulosa y lignina (Dhingra et al., 2012). Según Yameng Li et al., (2018) las muestras de mazorca de maíz contienen  $40,20 \pm 0,23$  % de celulosa,  $32,62 \pm 0,57$  % de hemicelulosa y  $10,20 \pm 0,82$  % de lignina. Los componentes como la lignina y hemicelulosa, son principales barreras estructurales a la accesibilidad enzimática de la celulosa en la mazorca de maíz (Ogunbayo et al., 2016). Por otro lado (Sadh et al., 2018) los residuos agrícolas son una fuente alternativa en la producción de hongos, tempeh, alimentos para animales biocombustibles y biogás, mediante la fermentación en estados sólido. Tripathi et al., (2019) indican que los residuos agrícolas representan la fuente mundial más abundante de biomasa renovable y la paja de trigo es la segunda materia prima después de la paja de arroz.

Los hongos de la pudrición blanca, secretan principalmente enzimas modificadoras de los residuos lignocelulósicos como la lacasa, manganoso peroxidasa (MnP) y las ligninas peroxidasa (LiP) (Bennett et al., 1992; Hatakka, 1994). Asimismo (Songulashvili et al., 2007) en su investigación, evaluaron la actividad enzimática de especies de basidiomicetos, mediante fermentación, emplearon desechos y subproductos de la industria alimentaria para estimular la producción de enzimas lignolíticas,; *Ganoderma lucidum* resultó ser un buen productor de lacasa en salvado de trigo y salvado de soja; pero fue muy pobre productor de la enzima MnP (manganoso peroxidasa) en el salvado de trigo y soja. Esto podría corroborar el lento metabolismo de *G. lucidum* con

respecto a *P. ostreatus*. Se observó que, la cantidad de proteínas aumentó gradualmente con el transcurso del tiempo de incubación principalmente en los TT y MM.

Rothmann et al., (2023) en su investigación sobre bioconversión de sustratos del árbol leñoso *Acacia mellifera* mediante fermentación en estado sólido con *G. lucidum* y *P. ostreatus*, con el fin de aumentar la digestibilidad y el valor nutricional de los desechos. Después de 18 semanas de fermentación los resultados indicaron una reducción significativa ( $p < 0,05$ ) de la fibra cruda, mostrando una reducción en 20% de los componentes no digeribles. Según Yang et al., (2001), la paja agrícola se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina, por esta estructura es considerada de baja energía, baja digestibilidad y bajo contenido de proteínas. Asimismo, señala que la fermentación en estado sólido es una alternativa microbiana que permite degradar los componentes de la pared celular y sintetizar proteínas. El contenido de fibra de la paja de trigo fermentada mostró un cambio significativo durante el transcurso del tiempo de incubación y mostrando un menor valor con respecto al contenido en paja de trigo no fermentada.

En la presente investigación, los sustratos previamente trozados, fueron remojados durante 24 horas en agua, seguidamente recibieron tratamiento térmico por 40 minutos a 121 °C con la finalidad de darle condiciones de crecimiento a los hongos. Al respecto Imman et al., (2018), menciona que, el pretratamiento con agua caliente es una estrategia eficiente e inofensivo para mejorar la digestibilidad enzimática de la biomasa lignocelulósica. El agua caliente solubilizada a la hemicelulosa. Por otro lado, Rothmann et al., (2023), en la fermentación de sustratos lignocelulósicos con *G. lucidum* y *P. ostreatus*. Sus resultados indicaron que la duración de la fermentación en estado sólido y las especies de hongos fueron componentes claves para lograr una degradación significativa durante la fermentación por 18 semanas de degradación, con una reducción significativa ( $P < 0,05$ ), de fibra hasta un 20%.

Según Sun y Cheng, (2002), en su investigación determinó que, la mazorca de maíz contiene 45% de celulosa, 35% hemicelulosa y 15% lignina. Medina-Morales et al., (2021) investigó la composición de la mazorca de maíz, determinando que, está por 30,50g/100 de celulosa, 16,9g/100g de hemicelulosa y 25,8g/100g de lignina. Por lo tanto, el alto contenido de lignina en la mazorca de maíz limitaría la digestibilidad enzimática. Por lo que el uso de los hongos lignocelulósicos como *G. lucidum*, es una alternativa útil para transformar estos residuos en alimento proteicos y con alta digestibilidad. Los



hongos tienen una gran capacidad de degradación de celulosa y hemicelulosa, según Banu J et al., (2021) señala que la degradación de la lignina mejora la digestibilidad de la celulosa. Los hongos de la pudrición blanca se caracterizan por producir enzimas lignolíticas que degradan la lignina, liberando celulosa y hemicelulosa el cual se puede visualizar con la colonización del micelio blanco del hongo Abdel-Hamid et al., (2013).

## CONCLUSIONES

- PRIMERO:** Este estudio concluye que, los residuos de tallo de trigo, marlo de maíz y rastrojo de quinua, fermentados con *Pleurotus ostreatus*, y *Ganoderma lucidum* mostraron incrementos significativamente ( $P < 0.05$ ) a los 30 días de incubación en el contenido de proteínas en un 55,31%, 50,06% en tallos de trigo en 42,46%, 43,93% en marlo de maíz y en 28,18%, 23,27% en el rastrojo de quinua, con respecto a los testigos (muestras sin fermentar). El contenido de azúcares reductores en el marlo de maíz crudo fue 7,23g/100g y tallos de trigo 7,26g/100g(testigo) y el rastrojo de quinua fue 1.89g/100g, estos disminuyeron progresivamente durante el tiempo de fermentación. El contenido de fibra cruda disminuyó significativamente en los sustratos fermentados con *P. ostreatus* ( $P < 0,05$ ), en orden de prelación la mayor degradación se produjo en el rastrojo de quinua en 36,47%, en los tallos de trigo se redujo en 23,55% y en el marlo de maíz en 11,98%, respectivamente.
- SEGUNDO:** Los residuos de tallos de trigo, marlo de maíz y rastrojo de quinua fermentados con *P. ostreatus* demostraron incrementos en el contenido de proteínas a los 30 días de incubación en 55,31% en tallos de trigo, 42,46% en marlo de maíz y 28,18% en rastrojo de quinua. Con respecto a los azúcares reductores las muestras sin fermentar presentaron mayor contenido, reduciéndose progresivamente hasta los 30 días de incubación; el contenido de fibra en las muestras testigo disminuyeron durante el proceso de fermentación, los hongos consumen los componentes de la fibra para producir metabolitos.
- TERCERO:** Los residuos de tallo de trigo, marlo de maíz y rastrojo de quinua fermentados con *G. lucidum* demostró mejores resultados en el contenido de proteínas a los 30 días de incubación con 50,06% en tallos de trigo; 43,93% en el marlo de maíz y 23,27 en rastrojo de quinua en comparación a las muestras testigo. El contenido de fibra disminuyo en 27,93% en tallos de trigo; 26,25% en rastrojo de quinua y 11,61% en marlo de maíz. Con respecto a los azúcares reductores las muestras sin fermentar presentaron mayor contenido, reduciéndose durante los tres periodos de incubación.





## RECOMENDACIONES

- A partir de estos resultados se sugiere realizar pruebas analíticas con respecto a la composición de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida, para optimizar la mejor digestibilidad de las muestras fermentadas.
- Realizar pruebas complementarias de determinación del contenido de saponinas en el rastrojo de quinua, perfil de aminoácidos esenciales, contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante en las muestras fermentadas.
- Realizar pruebas complementarias de determinación del contenido de saponinas en el rastrojo de quinua, perfil de aminoácidos esenciales, contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante en las muestras fermentadas.
- Se recomienda evaluar el desempeño en la producción pecuaria durante su inclusión en la alimentación con estos productos fermentados

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Hamid, A. M., Solbiati, J. O., y Cann, I. K. O. (2013). *Chapter One - Insights into Lignin Degradation and its Potential Industrial Applications* (S. Sariaslani y G. M. B. T.-A. in A. M. Gadd (eds.); Vol. 82, pp. 1–28). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407679-2.00001-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407679-2.00001-6)
- Abdelrahman, M., El-Sayed, M., Sato, S., Hirakawa, H., Ito, S., Tanaka, K., Mine, Y., Sugiyama, N., Suzuki, M., Yamauchi, N., y Shigyo, M. (2017). RNA-sequencing-based transcriptome and biochemical analyses of steroidal saponin pathway in a complete set of *Allium fistulosum*—*A. cepa* monosomic addition lines. *PLOS ONE*, 12(8), e0181784. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181784>
- Abdul Manan, M., y Webb, C. (2017). Modern microbial solid state fermentation technology for future biorefineries for the production of added-value products. *Biofuel Research Journal*, 4(4), 730–740. <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.4.5>
- Abu, O. A., Tewe, O. O., Losel, D. M., y Onifade, A. A. (2000). Changes in lipid, fatty acids and protein composition of sweet potato (*Ipomoea batatas*) after solid-state fungal fermentation. *Bioresource Technology*, 72, 189±192. [https://doi.org/DOI: 10.1016/S0960-8524\(99\)90102-5](https://doi.org/DOI:10.1016/S0960-8524(99)90102-5)
- Abubakar, U., Yusuf, K., Safiyanu, I., Abdullahi, S., Saidu, S., Abdu, G., y Indee, A. (2016). Proximate and mineral composition of corn cob, banana and plantain peels. *International Journal of Food Science and Nutrition* , 1(6), 25–27. [www.extension.org](http://www.extension.org). <https://www.foodsciencejournal.com/assets/archives/2016/vol1issue6/1-5-23-217.pdf>
- Acosta Estrada, B. A., Villela Castrejón, J., Perez Carrillo, E., Gómez Sánchez, C. E., y Gutiérrez Uribe, J. A. (2019). Effects of solid-state fungi fermentation on phenolic content, antioxidant properties and fiber composition of lime cooked maize by-product (nejayote). *Journal of Cereal Science*, 90. DOI: [10.1016/j.jcs.2019.102837](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102837)

- Adamovic, M., Grubic, G., Milenkovic, I., Jovanovic, R., Protic, R., Sretenovic, L., y Stoicevic, L. (1998). The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. *Animal Feed Science Technology*, 71, 357–362. DOI: [10.1016/S0377-8401\(97\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00150-8)
- Ahmad, M. F. (2018). *Ganoderma lucidum*: Persuasive biologically active constituents and their health endorsement. *Biomedicine y Pharmacotherapy*, 107, 507–519. DOI: [10.1016/j.biopha.2018.08.036](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.08.036)
- Akinfemi, Ogunwole, O., Ladipo, Adu, O., Osineye, y Apata, E. (2008). Enhancement of the nutritive value of maize leaf treated with white rot fungi and the effect on chemical composition and digestibility. *Journal of Product. Journal of Production Agricultural Technology*, 4, 106–114.
- AOAC. (2000). Official methods of Analysis. *Association of Official Analytical Chemists*. DOI: [10.1093/9780197610145.002.001](https://doi.org/10.1093/9780197610145.002.001)
- Arai, T., Kosugi, A., Chan, H., Koukiekolo, R., Yukawa, H., Masayuki, I., y Doi, R. H. (2006). Properties of cellulosomal family 9 cellulases from *Clostridium cellulovorans*. *Appl Microbiol Biotechnol*, 71, 654-60. [https://doi.org/DOI: 10.1007/s00253-005-0249-6](https://doi.org/10.1007/s00253-005-0249-6)
- Aruna, T. E., Aworh, O. C., Raji, A. O., y Olagunju, A. I. (2017). Protein enrichment of yam peels by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* (BY4743). *Annals of Agricultural Sciences*, 62(1), 33–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aoas.2017.01.002>
- Asher, A., Galili, S., Whitney, T., y Rubinovich, L. (2020). The potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed. *Scientia Horticulturae*, 272, 109534. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109534>
- Atuhaire, A. M., Kabi, F., Okello, S., Mugerwa, S., y Ebong, C. (2016). Optimizing biophysical conditions and pre-treatment options for breaking lignin barrier of maize stover feed using white rot fungi. *Animal Nutrition*, 2(4), 361–369. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.08.009>

- Baars, J. (2018). Fungi as Food. In I. John Wiley y Sons (Ed.), *Fungi: Biology and Applications* (Third Edit, pp. 148–168). DOI: [10.1002/9781119374312.ch6](https://doi.org/10.1002/9781119374312.ch6)
- Baby, S., Johnson, A. J., y Govindan, B. (2015). Secondary metabolites from Ganoderma. *Phytochemistry*, 114(0), 66–101. DOI: [10.1016/j.phytochem.2015.03.010](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.03.010)
- Banu J, R., Sugitha, S., Kavitha, S., Kannah R, Y., Merrylin, J., y Kumar, G. (2021). Lignocellulosic Biomass Pretreatment for Enhanced Bioenergy Recovery: Effect of Lignocelluloses Recalcitrance and Enhancement Strategies. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.646057>
- Baskota, S., y Islam, A. (2017). Evaluation of forage nutritive value of quinoa cultivars. *Field Days Bulletin, LREC Long Reports*. [https://www.researchgate.net/publication/337415517\\_Evaluation\\_of\\_Forage\\_Nutritive\\_Value\\_of\\_Quinoa\\_Cultivars](https://www.researchgate.net/publication/337415517_Evaluation_of_Forage_Nutritive_Value_of_Quinoa_Cultivars)
- Bennett, J. W., Arora, D. K., Elander, R. P., y Mukerji, K. G. (1992). Handbook of applied mycology. Volume 4. Fungal biotechnology. *Mycologia*, 84, 948. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:85116314>. DOI: [10.2307/3760302](https://doi.org/10.2307/3760302)
- Berber-Villamar, N. K., Netzahuatl-Muñoz, A. R., Morales-Barrera, L., Chávez-Camarillo, G. M., Flores-Ortiz, C. M., y Cristiani-Urbina, E. (2018). Corncob as an effective, eco-friendly, and economic biosorbent for removing the azo dye Direct Yellow 27 from aqueous solutions. *PloS One*, 13(4), e0196428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196428>.
- Bidegain, M. A., Postemsky, P. D., Cubitto, M. A., y Distel, R. A. (2018). *Conferencia: I Convención Internacional para la Producción de Hongos Comestibles y Medicinales*. [https://www.researchgate.net/publication/329454039\\_Fermentacion\\_en\\_estado\\_solido\\_de\\_cascara\\_de\\_semilla\\_de\\_girasol\\_y\\_paja\\_de\\_trigo\\_por\\_Pleurotus\\_sp\\_y\\_Ganoderma\\_sp\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_forrajes\\_mejorados\\_Solid\\_state\\_fermentation\\_of\\_sunflower\\_seed\\_hulls#ful](https://www.researchgate.net/publication/329454039_Fermentacion_en_estado_solido_de_cascara_de_semilla_de_girasol_y_paja_de_trigo_por_Pleurotus_sp_y_Ganoderma_sp_para_la_produccion_de_forrajes_mejorados_Solid_state_fermentation_of_sunflower_seed_hulls#ful)
- Bilal, M., Asgher, M. M., Iqbal, H. M. N., Hu, H., y Zhang, X. (2017). Biotransformation of lignocellulosic materials into value-added products—A review. *International*

- Journal of Biological Macromolecules*, 98, 447–458. PMID: 28163129 DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.01.133
- Bisaria, R., Madan, M., y Vasudevan, P. (1997). Utilisation of agro-residues as animal feed through bioconversion. *Bioresource Technology*, 59(1), 5–8. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00140-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00140-X)
- Canjun, L., Yiming, L., y Hao H, S. (2007). Complete Mitochondrial Genome of the Medicinal Mushroom *Ganoderma lucidum*. *BIOLOGY y LIFE SCIENCES*, 20(11), 985–991. DOI: [10.1371/journal.pone.0072038](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072038)
- Chang, V. S., y Holtzapple, M. T. (2000). Fundamental Factors Affecting Biomass Enzymatic Reactivity. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 5–37. DOI: [10.1385/abab:84-86:1-9:5](https://doi.org/10.1385/abab:84-86:1-9:5)
- Chen, J., Fales, S. L., Varga, G. A., y Royse, D. J. (1995). Biodegradation of cell wall components of maize stover colonized by white-rot fungi and resulting impact on in-vitro digestibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(1), 91–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.2740680115>
- Chen, S., Xu, J., Liu, C., Zhu, Y., Nelson, D. R., Zhou, S., Li, C., Wang, L., Guo, X., Sun, Y., Luo, H., Li, Y., Song, J., Henrissat, B., Levasseur, A., Qian, J., Li, J., Luo, X., Shi, L., ... Sun, C. (2012). Genome sequence of the model medicinal mushroom *Ganoderma lucidum*. *Nature Communications*, 3(1), 913. <https://doi.org/10.1038/ncomms1923>. DOI: [10.1038/ncomms1923](https://doi.org/10.1038/ncomms1923)
- Cohen, R., Persky, L., y Hadar, Y. (2012). Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. *Appl Microbiol Biotechnol*, 58, 582–594. DOI: [10.1007/s00253-002-0930-y](https://doi.org/10.1007/s00253-002-0930-y)
- Corrêa, R. C. G., Brugnari, T., Bracht, A., Peralta, R. M., y Ferreira, I. C. F. R. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (*Oyster mushroom*) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science y Technology*, 50, 103–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.012>
- D'Souza, T. M., Merritt, C. S., y Reddy, C. A. (1999). Lignin-modifying enzymes of the white rot basidiomycete *Ganoderma lucidum*. *Applied and Environmental*

- Microbiology*, 65(12), 5307–5313. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.12.5307-5313.1999>
- Darwish, G. A. M. A., Bakr, A. A., y Abdallah, M. M. F. (2012). Nutritional value upgrading of maize stalk by using *Pleurotus ostreatus* and *Saccharomyces cerevisiae* in solid state fermentation. *Annals of Agricultural Sciences*, 57(1), 47–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aoas.2012.03.005>
- Davin, L. B., y Lewis, N. G. (2005). Lignin primary structures and dirigent sites. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(4), 407–415. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.06.011>
- Dedousi, M., Melanouri, E.-M., y Diamantopoulou, P. (2023). Carposome productivity of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* growing on agro-industrial residues enriched with nitrogen, calcium salts and oils. *Carbon Resources Conversion*, 6(2), 150–165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crcon.2023.02.001>
- Dewi, Y. L., Ismail, A., Akramullah, M., Bouk, G., Kamlasi, Y., Sinabang, M. K., y Soares, D. C. D. C. (2022). Effect of Corn Waste Fermentation as Livestock Feed on Fiber Fraction Content. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 7(6), 108–112. <https://doi.org/10.22161/ijeab.76.12>
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., y Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Díaz Muñoz, K., Casanova Guajardo, M., León Torres, C. A., y Gil Ramírez, L. A. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Revista de Museo de Historia Natural*, 26(3), 1177–1184. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>.
- Dinis, M. J., Bezerra, R. M. F., Nunes, F., Dias, A. A., Guedes, C. V., Ferreira, L. M. M., Cone, J. W., Marques, G. S. M., Barros, A. R. N., y Rodrigues, M. A. M. (2009). Modification of wheat straw lignin by solid state fermentation with white-rot fungi. *Bioresource Technology*, 100(20), 4829–4835. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.036>

- Donini, L. P., Bernardi, E., Minotto, E., y Nascimento, J. S. do. (2009). Cultivo de shimejii em substrato capim-elefante suplementado com diferentes tipos de farelos. *Scientia Agraria*, 10(1), 067. <https://doi.org/10.5380/rsa.v10i1.12518>
- Duncan, S. M., y Schilling, J. S. (2010). Carbohydrate-hydrolyzing enzyme ratios during fungal degradation of woody and non-woody lignocellulose substrates. *Enzyme and Microbial Technology*, 47(8), 363–371. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2010.07.007>
- Ebeid, H. M., Kholif, A. E., El-Bordeny, N., Chrenkova, M., Mlynekova, Z., y Hansen, H. H. (2022). Nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa*) as a feed for ruminants: in sacco degradability and in vitro gas production. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 35241–35252. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18698-x>
- El-Rahman, A., El-Rahman, H. H. A., Abedo, A., y Mohamed, M. I. (2014). Effect of Biological Treatments of Rice Straw on Growth Performance, Digestion and Economical Efficiency for Growing Calves. *Global Veterinaria*, 13(1), 47–54. <https://doi.org/DOI: 10.5829/idosi.gv.2014.13.01.84234>
- Eliopoulos, C., Arapoglou, D., Chorianopoulos, N., Markou, G., y Haroutounian, S. A. (2021). Conversion of brewers' spent grain into proteinaceous animal feed using solid state fermentation. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI: [10.1007/s11356-021-15495-w](https://doi.org/10.1007/s11356-021-15495-w)
- ENDES. (2020). *Apurímac, Encuesta Demográfica y de Salud Familiar ENDES 2020*. <https://proyectos.inei.gob.pe/endes/2020/departamentales/Endes03/pdf/Apurimac.pdf>
- Energy Bulletin. (2010). Existing Oil Production. *Septiembre*, 1–10. <https://slacc.org.uk/wp-content/uploads/2013/01/Peak-Oil-Report.pdf>
- Galbe, M., y Zacchi, G. (2012). Pretreatment: The key to efficient utilization of lignocellulosic materials. *Biomass and Bioenergy*, 46, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.026>
- Gandam, P. K., Chinta, M. L., Pabbathi, N. P. P., Baadhe, R. R., Sharma, M., Thakur, V. K., Sharma, G. D., Ranjitha, J., y Gupta, V. K. (2022). Second-generation



- bioethanol production from corn cob – A comprehensive review on pretreatment and bioconversion strategies, including techno-economic and lifecycle perspective. *Industrial Crops and Products*, 186, 115245. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115245>
- Gao Peiji, Qu Yinbo, Zhao Xin, Zhu Mingtian, y Duan Yongcheng. (1997). Screening microbial strain for improving the nutritional value of wheat and corn straws as animal feed. *Enzyme and Microbial Technology*, 20(8), 581–584. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(96\)00191-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-0229(96)00191-3)
- Geib, S. M., Filley, T. R., Hatcher, P. G., Hoover, K., Carlson, J. E., Jimenez-Gasco, M. del M., Nakagawa-Izumi, A., Sleighter, R. L., y Tien, M. (2008). Lignin degradation in wood-feeding insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(35), 12932–12937. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805257105>
- González, J., Martín, G., Bruno, M., y Prado, F. (2016). la quinoa como alternativa forrajera en el NOA. *Lilloa*, 53. [https://www.researchgate.net/publication/305719420\\_la\\_quinoa\\_como\\_alternativa\\_forrajera\\_en\\_el\\_NOA](https://www.researchgate.net/publication/305719420_la_quinoa_como_alternativa_forrajera_en_el_NOA)
- Gowthaman, M. K., Krishna, C., y Moo-Young, M. (2001). Fungal solid state fermentation — an overview. In G. G. Khachatourians y D. K. B. T.-A. M. and B. Arora (Eds.), *Agriculture and Food Production* (Vol. 1, pp. 305–352). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1874-5334\(01\)80014-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1874-5334(01)80014-9)
- Gupta, A., y Jana, A. K. (2019). Production of laccase by repeated batch semi-solid fermentation using wheat straw as substrate and support for fungal growth. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42(3), 499–512. <https://doi.org/10.1007/s00449-018-2053-6>
- Han, B.-Z., Rombouts, F. M., y Nout, M. J. R. (2001). A Chinese fermented soybean food. *International Journal of Food Microbiology*, 65(1), 1–10. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00523-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00523-7)
- Hatakka, A. (1994). Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role from in lignin degradation. *FEMS Microbiology Reviews*, 13(2–3), 125–135. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00039.x>



- He, T., Jiang, Z., Wu, P., Yi, J., Li, J., y Hu, C. (2016). Fractionation for further conversion: from raw corn stover to lactic acid. *Scientific Reports*, 6(1), 38623. <https://doi.org/10.1038/srep38623>
- Heiniö, R.-L., Katina, K., Wilhelmson, A., Myllymäki, O., Rajamäki, T., Latva-Kala, K., Liukkonen, K.-H., y Poutanen, K. (2003). Relationship between sensory perception and flavour-active volatile compounds of germinated, sourdough fermented and native rye following the extrusion process. *LWT - Food Science and Technology*, 36(5), 533–545. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00057-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00057-4)
- Hernández Sampiere Roberto. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). <https://booksmedicos.org/>.
- Hölker, U., y Lenz, J. (2005). Solid-state fermentation - Are there any biotechnological advantages? *Current Opinion in Microbiology*, 8(3), 301–306. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2005.04.006>
- Imman, S., Laosiripojana, N., y Champreda, V. (2018). Effects of Liquid Hot Water Pretreatment on Enzymatic Hydrolysis and Physicochemical Changes of Corncobs. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 184(2), 432–443. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2541-1>
- Isikhuemhen, O. S., y Mikiashvili, N. A. (2009). Lignocellulolytic enzyme activity, substrate utilization, and mushroom yield by *Pleurotus ostreatus* cultivated on substrate containing anaerobic digester solids. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36(11), 1353–1362. <https://doi.org/10.1007/s10295-009-0620-1>
- Jittin, V., Rithuparna, R., Bahurudeen, A., y Pachiappan, B. (2021). Synergistic use of typical agricultural and industrial by-products for ternary cement: A pathway for locally available resource utilisation. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123448>
- Jonathan, S. G., Garuba, E. O., y Babayemi, O. J. (2012). *Bioconversion of sorghum stalk and rice straw into value added ruminant feed using Pleurotus pulmonarius*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:212579421>

- Jorgensen, H., Kristensen, J. B., y Felby, C. (2007). Enzymatic conversion of lignocellulose into fermentable sugars: challenges and opportunities. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 1, 119–134. <https://doi.org/10.1002/bbb.4>
- Kang, M., Zhai, F.-H., Li, X.-X., Cao, J.-L., y Han, J.-R. (2017). Total phenolic contents and antioxidant properties of buckwheat fermented by three strains of *Agaricus*. *Journal of Cereal Science*, 73, 138–142. DOI 10.1016/j.jcs.2016.12.012
- Khan, M. I., Ahhmed, A., Shin, J. H., Baek, J. S., Kim, M. Y., y Kim, J. D. (2018). Green Tea Seed Isolated Saponins Exerts Antibacterial Effects against Various Strains of Gram Positive and Gram Negative Bacteria, a Comprehensive Study *In Vitro* and *In Vivo*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 3486106. <https://doi.org/10.1155/2018/3486106>
- Khonkhaeng, B., y Cherdthong, A. (2020). Improving Nutritive Value of Purple Field Corn Residue and Rice Straw by Culturing with White-Rot Fungi. *Journal of Fungi*, 6(2), 69. <https://doi.org/10.3390/jof6020069>
- Knop, D., Yarden, O., y Hadar, Y. (2015). The ligninolytic peroxidases in the genus *Pleurotus*: divergence in activities, expression, and potential applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(3), 1025–1038. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6256-8>
- Kumar Sadh, P., Duhan, S., y Singh Duhan, J. (2018). Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, 5(2–15). DOI: [10.1186/s40643-017-0187-z](https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z)
- Langer, G. J., Bußkamp, J., Terhonen, E., y Blumenstein, K. (2021). Fungi inhabiting woody tree tissues. *Forest Microbiology: Volume 1: Tree Microbiome: Phyllosphere, Endosphere and Rhizosphere*, 175–205. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822542-4.00012-7>
- Lechner, B. E., y Papinutti, V. L. (2006). Production of lignocellulosic enzymes during growth and fruiting of the edible fungus *Lentinus tigrinus* on wheat straw. *Process Biochemistry*, 41(3), 594–598. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.08.004>

- Lee, J. (1997). Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. *Journal of Biotechnology*, 56, 1–24. DOI: [10.1016/S0168-1656\(97\)00073-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(97)00073-4)
- Li, Y., Zhang, Z., Zhu, S., Zhang, H., Zhang, Y., Zhang, T., y Zhang, Q. (2018). Comparison of bio-hydrogen production yield capacity between asynchronous and simultaneous saccharification and fermentation processes from agricultural residue by mixed anaerobic cultures. *Bioresource Technology*, 247, 1210–1214. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.053>
- Lim, J. G., Park, H., y Yoon, K. S. (2020). Analysis of saponin composition and comparison of the antioxidant activity of various parts of the quinoa plant (*Chenopodium quinoa Willd.*). *Food Science y Nutrition*, 8(1), 694–702. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1358>
- Lin, Y., y Tanak, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl Microbiol Biotechnol*, 69, 627–642. DOI: [10.1007/s00253-005-0229-x](https://doi.org/10.1007/s00253-005-0229-x)
- Liu, W., Wu, R., Wang, B., Hu, Y., Hou, Q., Zhang, P., y Wu, R. (2020). Comparative study on different pretreatment on enzymatic hydrolysis of corncob residues. *Bioresource Technology*, 295, 122244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122244>
- López Legarda, X., Arboleda Echavarría, C., y Segura Sánchez, F. (2015). Producción de polisacáridos a partir de *Ganoderma* sp., aislado en la región andina. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 2, 44–54. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.47060>
- Loyd, A. L., Barnes, C. W., Held, B. W., Schink, M. J., Smith, M. E., Smith, J. A., y Blanchette, R. A. (2018). Elucidating “lucidum”: Distinguishing the diverse laccate *Ganoderma* species of the United States. *PloS One*, 13(7), e0199738. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199738>
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., van Zyl, W. H., y Pretorius, I. S. (2002). Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 66(3), 506–577. <https://doi.org/10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002>

- Machado, A. R. G., Teixeira, M. F. S., de Souza Kirsch, L., Campelo, M. da C. L., y de Aguiar Oliveira, I. M. (2016). Nutritional value and proteases of *Lentinus citrinus* produced by solid state fermentation of lignocellulosic waste from tropical region. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(5), 621–627. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.07.002>
- Manavalan, T., Manavalan, A., y Heese, K. (2015). Characterization of Lignocellulolytic Enzymes from White-Rot Fungi. *Current Microbiology*, 0(70), 485–498. DOI: [10.1007/s00284-014-0743-0](https://doi.org/10.1007/s00284-014-0743-0)
- Mao, L., Sonnenberg, A. S. M., van Arkel, J., Cone, J. W., de Vos, R. C. H., Marchal, J. L. M., y Hendriks, W. H. (2021). Storage temperature and time and its influence on feed quality of fungal treated wheat straw. *Animal Feed Science and Technology*, 272, 114749. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114749>
- Martens, S. D., Wildner, V., Greef, J. M., Zeyner, A., y Steinhöfel, O. (2022). Growth and Influence of White-Rot Fungi on the Chemical Composition of Wheat Straw Inoculated under Varying Pre-Conditions. In *Fermentation* (Vol. 8, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/fermentation8120695>
- Medina-Morales, M. A., De la Cruz-Andrade, L. E., Paredes-Peña, L. A., Morales-Martínez, T. K., Rodríguez-De la Garza, J. A., Moreno-Dávila, I. M., Tamayo-Ordóñez, M. C., y Rios-González, L. J. (2021). Biohydrogen production from thermochemically pretreated corncob using a mixed culture bioaugmented with *Clostridium acetobutylicum*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(51), 25974–25984. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.04.046>
- Melanouri, E.-M., Dedousi, M., y Diamantopoulou, P. (2021). Cultivating *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* mushroom strains on agro-industrial residues in solid-state fermentation. Part I: Screening for growth, endoglucanase, laccase and biomass production in the colonization phase. *Carbon Resources Conversion*, 5(1), 139–145. DOI: [10.1016/j.crcon.2021.12.005](https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.12.005)
- Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. In *ANALYTICAL CHEMISTRY* (pp. 426–428). DOI: [10.1021/ac60147a030](https://doi.org/10.1021/ac60147a030)

- Nigam, P. S. nee', Gupta, N., y Anthwal, A. (2009). Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation. In P. Singh nee' Nigam y A. Pandey (Eds.), *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7>
- Nurfitri, N., Mangunwardoyo, W., y Saskiawan, I. (2021). Lignocellulolytic enzyme activity pattern of three white oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.) strains during mycelial growth and fruiting body development. *Journal of Physics: Conference Series*, 1725(1), 12056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1725/1/012056>
- Obeng, E. M., Adam, S. N. N., Budiman, C., Ongkudon, C. M., Maas, R., y Jose, J. (2017). Lignocellulases: a review of emerging and developing enzymes, systems, and practices. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0146-8>
- Obi, F., Ugwuishiwu, B., y Nwakaire, J. (2016). AGRICULTURAL WASTE CONCEPT, GENERATION, UTILIZATION AND MANAGEMENT. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4), 957. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.34>
- Ogunbayo, A. O., Olanipekun, O. O., y Babatunde, D. E. (2016). Effect of Pre-treatment method on the Hydrolysis of Corn cob and Sawdust. *Anadolu University Journal of Science and Technology-A Applied Sciences and Engineering*, 17(3). <https://doi.org/10.18038/btda.24082>
- Osinska-Jaroszuk, M., Jarosz-Wilkolazka, A., Jaroszuk-Sciseł, J., Szałapata, K., Nowak, A., Jaszek, M., Ozimek, E., y Majewska, M. (2015). Extracellular polysaccharides from Ascomycota and Basidiomycota: production conditions, biochemical characteristics, and biological properties. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31, 1823–1844. DOI: 10.1007/s11274-015-1937-8
- Oyetayo, O. V., y Ariyo, O. O. (2013). Micro and Macronutrient Properties of *Pleurotus ostreatus* ( Jacq : Fries ) Cultivated on Different Wood Substrates. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 6(3), 223–226. <https://doi.org/10.12816/0001537>
- PACCPERÚ. (2012). *Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco*. 1–114.

[https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1912/Caracterización-climática-de-las-regiones-Apurímac-y-Cusco\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1912/Caracterización-climática-de-las-regiones-Apurímac-y-Cusco_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Pandey, A., Soccol, C., y C., L. (2008). Current Developments In Solid - State Fermentation. In *Mushroom Production* (pp. 253–274). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-75213-6>
- Pandey, Ashok, Soccol, C. R., y Mitchell, D. (2000). New developments in solid state fermentation: I-bioprocesses and products. *Process Biochemistry*, 35(10), 1153–1169. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00152-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00152-7)
- Papadopoulou, K., Melton, R. E., Leggett, M., Daniels, M. J., y Osbourn, A. E. (1999). Compromised disease resistance in saponin-deficient plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(22), 12923–12928. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.22.12923>
- Patel, H., Gupte, A., y Gupte, S. (2009). Effect of different culture conditions and inducers on production of laccase by a basidiomycete fungal isolate *Pleurotus ostreatus* HP-1 under solid state fermentation. *BioResources*, 4(1), 268–284. <https://doi.org/10.15376/biores.4.1.268-284>
- Philippoussis, A. N. (2009). *Production of Mushrooms Using Agro-Industrial Residues as Substrates BT - Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-Residues* (P. Singh nee' Nigam y A. Pandey (eds.); pp. 163–196). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_9)
- Philippoussis, A, Zervakis, G., y Diamantopoulou, P. (2001). Bioconversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(2), 191–200. <https://doi.org/10.1023/A:1016685530312>
- Philippoussis, Antonios, Diamantopoulou, P., y Israilides, C. (2007). Productivity of agricultural residues used for the cultivation of the medicinal fungus *Lentinula edodes*. *International Biodeterioration y Biodegradation*, 59(3), 216–219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.10.007>

- Pinela, J., Omarini, A. B., Stojković, D., Barros, L., Postemsky, P. D., Calhelha, R. C., Breccia, J., Fernández-Lahore, M., Soković, M., y Ferreira, I. C. F. R. (2020). Biotransformation of rice and sunflower side-streams by dikaryotic and monokaryotic strains of *Pleurotus sapidus*: Impact on phenolic profiles and bioactive properties. *Food Research International*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109094>
- Platt, M. W., Hadar, Y., y Chet, I. (1984). Fungal activities involved in lignocellulose degradation by *Pleurotus*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 20, 150–154. DOI: [10.1007/BF00252594](https://doi.org/10.1007/BF00252594)
- Podkówka, Z., Gęsiński, K., y Podkówka, L. (2018). The influence of additives facilitating ensiling on the quality of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) silage. *Journal of Central European Agriculture*, 19(3), 607–614. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.3.2237>
- Reddy, G. V, Ravindra Babu, P., Komaraiah, P., Roy, K. R. R. M., y Kothari, I. L. (2003). Utilization of banana waste for the production of lignolytic and cellulolytic enzymes by solid substrate fermentation using two *Pleurotus* species (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*). *Process Biochemistry*, 38(10), 1457–1462. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00025-6)
- Reid, J. S., Eck, T. F., Christopher, S. A., Koppman, R., Dubovik, O., Eleuterio, D. P., Holben, B. N., Reid, E. A., y Zhang, J. (2005). A review of biomass burning emissions part III: Intensive optical properties of biomass burning particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5(3), 827–849. <https://doi.org/10.5194/acp-5-827-2005>
- Rogosic, J., Estell, R. E., Ivankovic, S., Kezic, J., y Razov, J. (2008). Potential mechanisms to increase shrub intake and performance of small ruminants in mediterranean shrubby ecosystems. *Small Ruminant Research*, 74(1), 1–15. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.07.006](https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.07.006)
- Rothmann, C., Rothmann, L., Viljoen, B., y Cason, E. D. (2023). Application of solid-state fermentation using mushrooms for the production of animal feed. *Journal of Basic Microbiology*, 63(10), 1153–1164. <https://doi.org/10.1002/jobm.202300218>



- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27(2), 185–194.
- Sánchez, Ó. J., y Cardona, C. A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, 99(13), 5270–5295.
- Satgé, C., Granet, R., Verneuil, B., Branland, P., y Krausz, P. (2004). Synthesis and properties of biodegradable plastic films obtained by microwave-assisted cellulose acylation in homogeneous phase. *Comptes Rendus Chimie*, 7, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2003.11.003>
- Savoie, J., Salmones, D., y Mata, G. (2007). Hydrogen peroxide concentration measured in cultivation substrates during growth and fruiting of the mushrooms *Agaricus bisporus* and *Pleurotus* spp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(7), 1337–1344. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2854>
- Selltiz, C. (1974). Métodos de investigación en las relaciones sociales (7ma ed.). [https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991003092279703936/56UDC\\_INST:56UDC\\_INST](https://bibliotecadigital.uchile.cl/discovery/fulldisplay/alma991003092279703936/56UDC_INST:56UDC_INST)
- Shah, S. S., Shi, L., Li, Z., Ren, G., Zhou, B., y Qin, P. (2020). Yield, Agronomic and Forage Quality Traits of Different Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Genotypes in Northeast China. In *Agronomy* (Vol. 10, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/agronomy10121908>
- Shi, M., Yang, Y., Wang, Q., Zhang, Y., Wang, Y., y Zhang, Z. (2012). Production of total polyphenol from fermented soybean curd residue by *Lentinus edodes*. *International Journal of Food Science and Technology*. DOI:10.1111/j.1365-2621.2012.02961.x
- Shrivastava, B., Jain, K. K., Kalra, A., y Kuhad, R. C. (2014). Bioprocessing of wheat straw into nutritionally rich and digested cattle feed. *Scientific Reports*, 4(1), 6360. <https://doi.org/10.1038/srep06360>
- Silva Canedo, M., Gomes de Paula, F., Alves da Silva, F., y Vendruscolo, (2016). Protein enrichment of brewery spent grain from *Rhizopus oligosporus* by solid-state fermentation. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 39, 1105, 1113. DOI: 10.1007/s00449-016-1587-8



- Songulashvili, G., Elisashvili, V., Wasser, S. P., Nevo, E., y Hadar, Y. (2007). Basidiomycetes laccase and manganese peroxidase activity in submerged fermentation of food industry wastes. *Enzyme and Microbial Technology*, 41(1), 57–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.11.024>
- Stoffel, F., Santana, W. de O., Gregolon, J. G. N., Kist, T. B. L., Fontana, R. C., y Camassola, M. (2019). Production of edible mycoprotein using agroindustrial wastes: Influence on nutritional, chemical and biological properties. *Innovative Food Science y Emerging Technologies*, 58, 102227. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102227>
- Sudhakar, M. P., Ravel, M., y Perumal, K. (2021). Pretreatment and process optimization of bioethanol production from spent biomass of *Ganoderma lucidum* using *Saccharomyces cerevisiae*. *Fuel*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121680>
- Sun, Y., y Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 1–11. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)
- Taherzadeh, M. J., y Karimi, K. (2007). Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. *BioResources*, 2, 472–499. DOI:10.15376/biores.2.4.472-499
- Takada, M., Niu, R., Minami, E., y Saka, S. (2018). Characterization of three tissue fractions in corn (*Zea mays*) cob. *Biomass and Bioenergy*, 115, 130–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.023>
- Talebnia, F., Karakashev, D., y Angelidaki, I. (2010). Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*, 101, 4744–4753. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.080>
- Tamilvendan, M., Arulmani, M., Kalaichelvan P., T., y Klaus, H. (2012). Secretome analysis of *Ganoderma lucidum* cultivated in sugarcane bagasse. *Journal of Proteomics*, 77(0), 298–309. DOI: [10.1016/j.jprot.2012.09.004](https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.09.004)

- Thiex, N., Novotny, L., y Crawford, A. (2012). Determination of Ash in Animal Feed: AOAC Official Method 942.05 Revisited. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 95(5), 1392–1397. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.12-129>
- Thomas, L., Larroche, C., y Pandey, A. (2013). Current developments in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 81, 146–161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.10.013>
- Tiammee, S., y Likasiri, C. (2020). Sustainability in corn production management: A multi-objective approach. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120855. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120855>
- Tian, X.-F., Fang, Z., y Guo, F. (2012). Impact and prospective of fungal pre-treatment of lignocellulosic biomass for enzymatic hydrolysis. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6, 335–350. <https://doi.org/10.1002/bbb.346>
- Tripathi, N., Hills, C. D., Singh, R. S., y Atkinson, C. J. (2019). Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 2(1), 35. <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0093-5>
- Tsai, W. T., Chang, C. Y., Wang, S. Y., Chang, C. F., Chien, S. F., y Sun, H. F. (2001). Cleaner production of carbon adsorbents by utilizing agricultural waste corn cob. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(1), 43–53. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(00\)00093-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0921-3449(00)00093-8)
- Tsang, L. J., Reid, I. D., y Coxworth, E. C. (1987). Delignification of Wheat Straw by *Pleurotus* spp. under Mushroom-Growing Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 53, 1304–1306. DOI: [10.1128/aem.53.6.1304-1306.1987](https://doi.org/10.1128/aem.53.6.1304-1306.1987)
- Urban, A. F. (2017). Biotecnología e aplicações na agricultura e na saúde. In *Produção de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada: biotecnologia e aplicações na agricultura e na saúde* (3ª edição). <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1077728/producao-de-cogumelos-por-meio-de-tecnologia-chinesa-modificada-biotecnologia-e-aplicacoes-na-agricultura-e-na-saude>

- Valdés, G., Mendonça, R. T., y Aggelis, G. (2020). Lignocellulosic Biomass as a Substrate for Oleaginous Microorganisms: A Review. In *Applied Sciences* (Vol. 10, Issue 21). <https://doi.org/10.3390/app10217698>
- Vázquez-Luna, A., Pimentel Cortés, V., Fuentes Carmona, F., y Díaz-Sobac, R. (2019). Quinoa leaf as a nutritional alternative. *Ciencia e Investigación Agraria*, 46(2), 137–143. <https://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2098>
- Villegas Escobar, V., Pérez, A. M., y Arredondo, C. (2007). Production evaluation of *Lentinula edodes* Pegler fungi in synthetic logs based on agricultural wastes. *Ingeniería y Ciencia*, 3(6), 23–39. <http://hdl.handle.net/10784/14535>
- Wang, W., Vinocur, B., y Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>
- Wanzenbock, E., Apprich, S., Tirpanalan, O., Zitz, U., Kracher, D., Schedle, K., y Kneifel, W. (2017). Wheat bran biodegradation by edible *Pleurotus* fungi e A sustainable perspective for food and feed. *LWT - Food Science and Technology*, 86, 123–131. DOI: [10.1016/j.lwt.2017.07.051](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.051)
- Yan, Q., Lin, M., Huang, Y., Datsomor, O., Wang, K., y Zhao, G. (2022). Effects of Solid-State Fermentation Pretreatment with Single or Dual Culture White Rot Fungi on White Tea Residue Nutrients and In Vitro Rumen Fermentation Parameters. In *Fermentation* (Vol. 8, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/fermentation8100557>
- Yang, X., Chen, H., Gao, H., y Li, Z. (2001). Bioconversion of corn straw by coupling ensiling and solid-state fermentation. *Bioresource Technology*, 78(3), 277–280. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00024-4](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00024-4)
- Yang, Z., Xu, J., Fu, Q., Fu, X., Shu, T., Bi, Y., y Song, B. (2013). Antitumor activity of a polysaccharide from *Pleurotus eryngii* on mice bearing renal cancer. *Carbohydrate Polymers*, 95(2), 615–620. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.03.024>
- Yoon, I. K., y Stern, M. D. (1996). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* Cultures on Ruminant Fermentation in Dairy Cows<sup>1</sup>. *Journal of Dairy*



*Science*, 79(3), 411–417. [https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76380-4](https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76380-4)

Yuliana, T., Putri, N. Z., Komara, D. Z., Mardawati, E., Lanti, I., y Rahimah, S. (2020). Study of *Ganoderma lucidum* in Laccase Production using Corn cob and Paddies Straw Substrates on Submerged Fermentation System. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 23(8), 1060–1065. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.1060.1065>

Zadrazil, F., y Isikhuemhen, O. (1997). *Solid state fermentation of lignocellulosics into animal feed with white rot fungi BT - Advances in Solid State Fermentation* (S. Roussos, B. K. Lonsane, M. Raimbault, y G. Viniegra-Gonzalez (eds.); pp. 273–287). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0661-2\\_22](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0661-2_22)

Zhai, F.-H., Wang, Q., y Han, J.-R. (2015). Nutritional components and antioxidant properties of seven kinds of cereals fermented by the basidiomycete *Agaricus blazei*. *Journal of Cereal Science*, 65, 202e208. DOI: [10.1016/j.jcs.2015.07.010](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.010)

Zhu, J., Song, S., Lian, L., Shi, L., Ren, A., y Zhao, M. (2022). Improvement of laccase activity by silencing PacC in *Ganoderma lucidum*. *World Journal of Microbiology and*



## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

| Interrogantes específicas  | Hipótesis específica   | Objetivos específicos  | Variables  | Indicadores   | Métodos  | Pruebas Estadísticas  |
|--|--|--|--|---|--|---|
| <p><b>PE1:</b> ¿Cuál es el efecto de la fermentación de la paja de trigo, mazo y rastrojo de quinua con <i>Ganoderma lucidum</i> en el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda en 10, 20 y 30 días de incubación?</p>  | <p><b>H1:</b> El efecto de la fermentación de la paja de trigo, mazo y rastrojo de quinua con <i>Ganoderma lucidum</i> en el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda en 10, 20 y 30 días de incubación varía significativamente.</p> | <p>OE1: Evaluar el efecto de la fermentación de residuos agrícolas con <i>Ganoderma lucidum</i> en el contenido de proteínas totales, azúcares reductores y fibra cruda</p>  | <p><b>Variables Independiente:</b><br/>Efecto de Fermentación de <i>G. lucidum</i> y <i>P. ostreatus</i></p>                               | <p>Mi- celio (1cm<sup>2</sup>)<br/>Re- siduos agrícolas</p> | <p>Plan- teamiento del problema<br/>Revi- sión de la literatura<br/>Plan- teamiento de hipótesis</p>   | <p>ANOVA<br/>la prueba de Duncan (p&lt;0,05)<br/>Pruebas de Correlación</p> |
| <p><b>PE2:</b> ¿Cuál es el efecto de la fermentación de la paja de trigo, mazo y rastrojo de quinua con <i>Pleurotus ostreatus</i> en el contenido de proteína totales, azúcares reductores y fibra cruda en 10, 20 y 30 días de incubación?</p> | <p><b>H2:</b> El efecto de la fermentación de la paja de trigo, mazo y rastrojo de quinua con <i>Pleurotus ostreatus</i> en el contenido de proteína totales, azúcares reductores y fibra cruda en 10, 20 y 30 días de incubación es muy significativo.</p>    | <p>OE2: Evaluar el efecto de la fermentación de residuos agrícolas con <i>Pleurotus ostreatus</i> en el contenido de proteína totales, azúcares reductores y fibra cruda</p> | <p><b>Variables Dependiente:</b><br/>Contenido de proteínas totales<br/>Contenido de azúcares reductores.<br/>Contenido de fibra cruda</p> | <p>ml<br/>ug/<br/>00g muestra<br/>ml<br/>ug/</p>            | <p>Anál- isis de muestras<br/>Elab- oración de reporte de resultado<br/>Anál- isis de datos<br/>Rep- orte de resultados<br/>Disc- usiones conclusiones</p> | <p>ANOVA<br/>la prueba de Duncan (p&lt;0,05)<br/>Pruebas de Correlación</p> |

## Anexo2

### Base de datos

**Tabla 4**

*Análisis de Varianza del contenido de proteínas en muestras fermentadas con P. ostreatus (g/100g bs).*

| Fuente                    | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F  | Valor-P |
|---------------------------|-------------------|----|----------------|----------|---------|
| Efectos principales:      |                   |    |                |          |         |
| A: Sustrato               | 373.028           | 2  | 186.514        | 17730.39 | 0.0000  |
| B: Tiempo de fermentación | 65.8094           | 3  | 21.9365        | 2085.32  | 0.0000  |
| Interacciones             |                   |    |                |          |         |
| AB                        | 11.6618           | 6  | 1.94364        | 184.77   | 0.0000  |
| Residuos                  | 0.252467          | 24 | 0.0105194      |          |         |
| Totales                   | 450.751           | 35 |                |          |         |

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

**Tabla 5**

*Análisis de Varianza del contenido de azúcares reductores en muestras fermentadas con P. ostreatus (g/100g bs)*

| Fuente                    | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F  | Valor-P |
|---------------------------|-------------------|----|----------------|----------|---------|
| Efectos principales:      |                   |    |                |          |         |
| A: Sustrato               | 23.9834           | 2  | 11.9917        | 6029.35  | 0.0000  |
| B: Tiempo de fermentación | 76.3518           | 3  | 25.4506        | 12796.38 | 0.0000  |
| Interacciones             |                   |    |                |          |         |
| AB                        | 78.9307           | 6  | 13.1551        | 6614.31  | 0.0000  |
| Residuos                  | 0.0477333         | 24 | 0.00198889     |          |         |
| Total (corregido)         | 179.314           | 35 |                |          |         |

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

**Tabla 6**

*Análisis de Varianza del contenido de fibra cruda en muestras fermentadas de P. ostreatus (g/100g bs)*

| Fuente                    | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales:      |                   |    |                |         |         |
| A: Sustrato               | 736.192           | 2  | 368.096        | 3296.22 | 0.0000  |
| B: Tiempo de fermentación | 267.931           | 3  | 89.3105        | 799.76  | 0.0000  |
| Interacciones             |                   |    |                |         |         |
| AB                        | 41.6124           | 6  | 6.9354         | 62.11   | 0.0000  |
| Residuos                  | 2.68013           | 24 | 0.111672       |         |         |
| Total (corregido)         | 1048.42           | 35 |                |         |         |

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

**Tabla 7**

*Análisis de Varianza del contenido de proteína en muestras fermentadas de G. lucidum (g/100g bs)*

| Fuente                    | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F  | Valor-P |
|---------------------------|-------------------|----|----------------|----------|---------|
| Efectos principales:      |                   |    |                |          |         |
| A: Sustrato               | 382.241           | 2  | 191.12         | 35966.21 | 0.0000  |
| B: Tiempo de fermentación | 51.4886           | 3  | 17.1629        | 3229.81  | 0.0000  |
| Interacciones             |                   |    |                |          |         |
| AB                        | 8.08294           | 6  | 1.34716        | 253.52   | 0.0000  |
| Residuos                  | 0.127533          | 24 | 0.00531389     |          |         |
| Total (corregido)         | 441.94            | 35 |                |          |         |

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



**Tabla 8**

*Análisis de Varianza del contenido de Azúcares reductores en muestras fermentadas de G. lucidum (g/100g bs)*

| Fuente                    | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales:      |                   |    |                |         |         |
| A: Sustrato               | 38.8726           | 2  | 19.4363        | 4683.45 | 0.0000  |
| B: Tiempo de fermentación | 52.2488           | 3  | 17.4163        | 4196.69 | 0.0000  |
| Interacciones             |                   |    |                |         |         |
| AB                        | 61.0129           | 6  | 10.1688        | 2450.32 | 0.0000  |
| Residuos                  | 0.0996            | 24 | 0.00415        |         |         |
| Total (corregido)         | 152.234           | 35 |                |         |         |

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

**Tabla 9**

*Análisis de Varianza del contenido de fibra cruda en muestras fermentadas de G. lucidum (g/100g bs)*

| Fuente                    | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales:      |                   |    |                |         |         |
| A: Sustrato               | 426.124           | 2  | 213.062        | 3040.48 | 0.0000  |
| B: Tiempo de fermentación | 215.972           | 3  | 71.9906        | 1027.34 | 0.0000  |
| Interacciones             |                   |    |                |         |         |
| AB                        | 40.5045           | 6  | 6.75075        | 96.34   | 0.0000  |
| Residuos                  | 1.6818            | 24 | 0.070075       |         |         |
| Total (corregido)         | 684.282           | 35 |                |         |         |

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

### Anexo3

#### Panel fotográfico

#### Figura 10

Cepas de *Pleurotus ostreatus* y *Ganoderma lucidum* (derecha e izquierda) en PDA



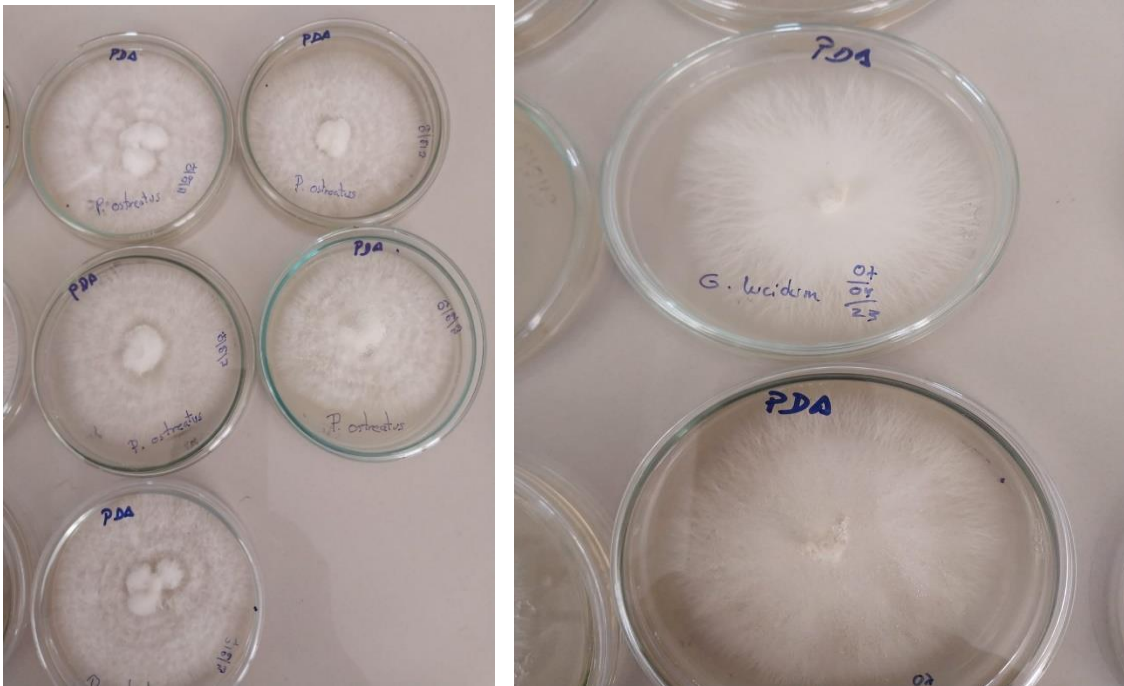
#### Figura 11

Preparación del medio de cultivo (PDA) en placas y tubos de ensayo (derecha e



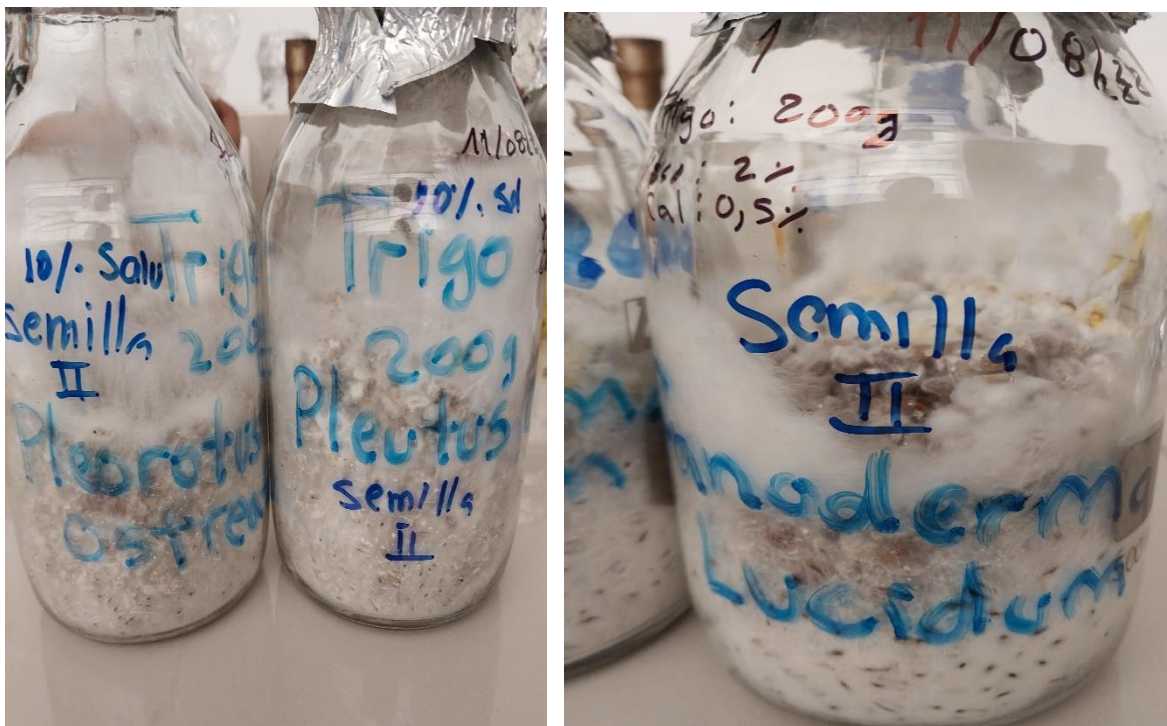
**Figura 12**

Micelio de *P. ostreatus* y *G. lucidum* en PDA, 10 días de incubación (derecha e izquierda)



**Figura 13**

Semilla o spaw de *P. ostreatus* y *G. lucidum* en trigo entero (derecha e izquierda)





**Figura 14**

*Residuos TT, MM y RQ y su molienda (derecha e izquierda)*



**Figura 15**

*Acondicionamiento de residuos agrícolas en bolsas de polietileno para su esterilización*



Figura 16

*Esterilización por vapor húmedo (autoclave) de los sustratos (derecha e izquierda)*



**Figura 17**

*Incubación del micelio de *P. ostreatus* y *G. lucidum* de los residuos agrícolas*



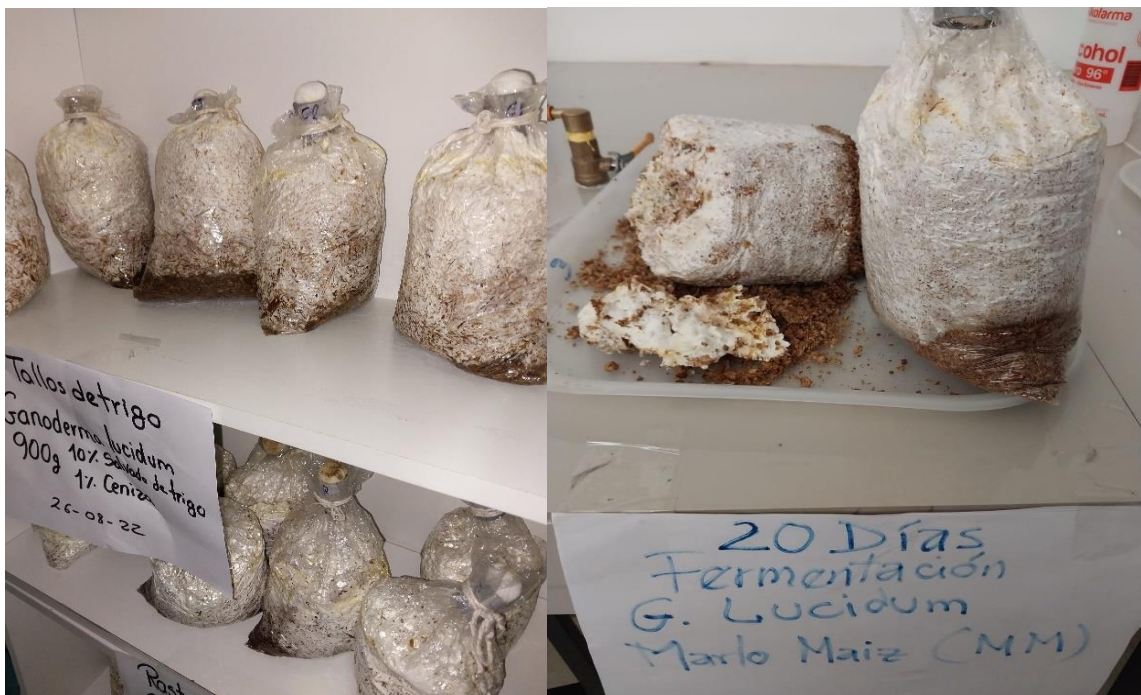


incubación para el proceso de fermentación en las botellas de los residuos agrícolas con



**Figura 19**

*Cosecha de las muestras a los 10, 20 y 30 días de incubación*



**Figura 20**

*Secado y molienda de las muestras fermentadas*



**Figura 21**

*Acondicionamiento de las muestras fermentadas para los análisis respectivos*







Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



VRI  
Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Alex Ernesto Muñoz Cáceres  
identificado con DNI 01335552 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON BIOSOLICITOS EN LA  
PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS, AZÚCARES REDUCTORES Y FIBRA  
CADA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumí como propias las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las consecuencias éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcanzan del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso.

Puno 29 de ABRIL del 2024

  
FIRMA [obligatoria]



Huella





Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL.

Por el presente documento, Yo Alex Ernesto Muñoz Cáceres identificado con DNI 01335552 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominado:

"EFECTO DE LA FERMENTACIÓN CON BACTERIOMICETOS EN LA PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS, AZÚCARES REDUCTORES Y FIBRA CELÚLICA A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS"

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos, artículos mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío, en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo usar y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NonComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de ABRIL del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella