

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Efecto biodegradador de desechos lignocelulósicos por hongos
Pleurotus ostreatus como técnica de pretratamiento al manejo de
residuos sólidos orgánicos

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

Santos Héctor Alarcón Manay

Luis Henry Mendoza Pérez

ASESOR

Wilson Pérez Dávila

Rioja, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado**Presidente del jurado**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 021 - 2023/UCSS/FIA/DI

Siendo las 09:00 a.m. del 17 de marzo de 2023, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|--------------------------------|-----------------|
| 1. Bertha Marcelina Ruiz Jange | presidente |
| 2. Luis Darío Santillán García | primer miembro |
| 3. Jorge Alberto Torres Valles | segundo miembro |
| 4. Wilson Pérez Dávila | asesor |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Efecto biodegradador de desechos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus* como técnica de pretratamiento al manejo de residuos sólidos orgánicos** que presentan los bachilleres en Ciencias Ambientales, **Santos Héctor Alarcón Manay y Luis Enrique Mendoza Pérez**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

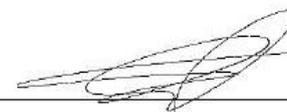
DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **SUFICIENTE** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 17 de marzo de 2023.



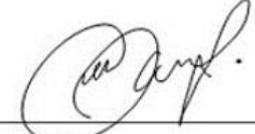
Bertha Marcelina Ruiz Jange
PRESIDENTE



Luis Darío Santillán García
1° MIEMBRO



Jorge Alberto Torres Valles
2° MIEMBRO



Wilson Pérez Dávila
ASESOR

Anexo 2**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Rioja, 24 de julio de 2023

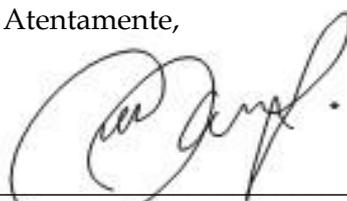
Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: **Efecto biodegradador de desechos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus* como técnica de pretratamiento al manejo de residuos sólidos orgánicos**, presentado por **Santos Héctor Alarcón Manay** con código de estudiante **2010200884** y DNI **16739454** y **Luis Henry Mendoza Pérez** con código de estudiante **2010200899** y DNI **47671954** para optar **el título profesional**/ grado académico de Ingeniero Ambiental, ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %** (poner el valor del porcentaje) *. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y **adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin**, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'W. Mendoza', is written over a horizontal line.

Firma del Asesor (a)
DNI N°: 43447032
ORCID: 0000-0001-9060-1552
Facultad de Ingeniería Agraria
UCSS

(*) De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, **será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.**

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la vida.

A mis padres Jorge Alarcón y María Manay por inculcarme valores.

A mi esposa Iris y a mis hijos Luis, Anthoni y Cecilia, por su apoyo incondicional durante mis estudios universitarios.

Santos Héctor Alarcón Manay

A Dios por guiar mis pasos en cada momento de mi vida.

A mi familia Pérez Mendoza por su apoyo incondicional en la formación de mi carrera profesional.

A mi esposa Deni Gaitán, mis hijos Luis Antony Mendoza y Arihana Mendoza por estar siempre a mi lado.

Luis Henry Mendoza Pérez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae por estar presente en el distrito de Nueva Cajamarca y acogernos durante cinco años en la carrera de Ingeniería Ambiental.

A los docentes de la carrera Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería Agraria que en su momento nos inculcaron sus conocimientos teóricos prácticos para desenvolvimiento de nuestra vida profesional.

A los integrantes de jurado de sustentación, por sus aportes en la revisión y sugerencias realizados a nuestro informe de tesis a fin de tener un documento entendible y ordenado para ser publica en el repositorio institucional de nuestra universidad y de esa forma estar disponible los resultados alcanzados a la comunidad de investigadores y tesisistas.

A nuestro asesor y compañero Ing. Wilson Pérez Dávila por su conocimiento y sugerencias en la ejecución de nuestro trabajo de investigación, y la excelente orientación en la elaboración de nuestro informe.

ÍNDECE GENERAL

	Pág.
ÍNDECE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	14
1.2.1. Residuos lignocelulósicos	14
1.2.2. Problemas que enfrentan los residuos lignocelulósicos en el mundo y Perú	16
1.2.3. Hongos basidiomicetos.....	18
1.2.4. Hongos <i>Pleurotus ostreatus</i>	20
1.2.5. Consideraciones en el cultivo de hongos <i>Pleurotus ostreatus</i>	23
1.2.6. Pretratamiento de residuos lignocelulósicos.....	26
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1. Diseño de la investigación.....	27
2.1.1. Lugar y fecha	27
2.1.2. Descripción del experimento	28
2.1.3. Tratamientos	36
2.1.4. Unidades experimentales.....	37
2.1.5. Identificación de variables y su mensuración.....	38
2.1.6. Diseño estadístico del experimento	39
2.1.7. Análisis estadísticos de datos	39
2.7.8. Materiales	40
CAPÍTULO III: RESULTADOS	41

3.1. Tiempo de colonización.....	41
3.2. Tiempo de biodegradación	44
3.3. Porcentaje de bioconversión.....	48
3.4. Biodegradación de residuos lignocelulósicos.....	52
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	55
4.1. Tiempo de colonización de residuos lignocelulosos por hongos <i>Pleurotus ostreatus</i> ...	55
4.2. Tiempo de biodegradación de residuos lignocelulosos por hongos <i>Pleurotus ostreatus</i>	58
4.3. Porcentaje de bioconversión de los residuos lignocelulosos	59
4.4. Porcentaje de biodegradación de los residuos lignocelulosos por efecto de los hongos <i>Pleurotus ostreatus</i>	63
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	63
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS	66
TERMINOLOGÍA	83
APÉNDICES	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Tipos de residuos lignocelulosas y su composición</i>	15
Tabla 2. <i>Clasificación taxonómica del hongo Pleurotus ostreatus</i>	20
Tabla 3. <i>Tratamientos experimentales constituidos por residuos lignocelulósicos en diferentes proporciones</i>	37
Tabla 4. <i>Análisis de Varianza del diseño estadístico</i>	40
Tabla 5. <i>Materiales empleados en la ejecución experimental de la investigación</i>	40
Tabla 6. <i>Análisis de varianza para los tiempos promedios de colonización</i>	41
Tabla 7. <i>Análisis de prueba de normalidad mediante Kolmogórov Smirnov</i>	42
Tabla 8. <i>Análisis de supuesto de homogeneidad mediante prueba de varianzas constantes entre residuos absolutos de tiempo de colonización (Prueba de Levene)</i>	43
Tabla 9. <i>Comparación de medidas estadísticas entre tratamientos para el porcentaje del tiempo de colonización micelial del hongo Pleurotus ostreatus</i>	43
Tabla 10. <i>Análisis de varianza para tiempo de biodegradación de los residuos sólidos lignocelulósicos experimentales</i>	44
Tabla 11. <i>Análisis de normalidad mediante prueba de inferencia de una muestra de Kolmogórov Smirnov</i>	45
Tabla 12. <i>Análisis de varianza de homocedaticidad de los valores de residuos absolutos de tiempo de biodegradación mediante prueba de Levene</i>	46
Tabla 13. <i>Comparación de medias estadísticas entre tratamientos mediante prueba de Tukey al 5 % para tiempo de biodegradación de residuos lignocelulósicos por acción de los hongos Pleurotus ostreatus</i>	47
Tabla 14. <i>Análisis de varianza para para los resultados de porcentajes de bioconversión alcanzados durante el proceso experimental</i>	48
Tabla 15. <i>Estimación de normalidad mediante análisis de los residuos de porcentaje de bioconversión</i>	49
Tabla 16. <i>Análisis de varianza de los residuos absolutos de porcentaje de bioconversión mediante prueba de Levene</i>	50
Tabla 17. <i>Comparación de medias estadísticas por tratamientos mediante la prueba de Tukey para los porcentajes de bioconversión</i>	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Características físicas del hongo Pleurotus ostreatus</i>	21
Figura 2. <i>Esquema del proceso reproductivo de los Hongos Pleurotus ostreatus</i>	22
Figura 3. <i>Tipos de tratamiento de residuos lignocelulósicos</i> ..	27
Figura 4. <i>Ubicación geográfica del caserío de Palestina en el distrito de Nueva Cajamarca</i>	28
Figura 5. <i>Recolección de residuos lignocelulósicos de panca de maíz (A) y bagazo de caña de chacras agrícolas en la jurisdicción del caserío Palestina</i>	29
Figura 6. <i>Acondicionamiento de residuos lignocelulósicos a temperatura ambiente</i>	29
Figura 7. <i>Actividades y procedimientos para la obtención de inóculos de Pleurotus ostreatus a partir de inóculos secundarios</i>	30
Figura 8. <i>Proceso de preparación de residuos lignocelulósicos mediante pasteurización</i>	31
Figura 9. <i>Proceso de agregación de inóculos en residuos lignocelulósicos experimentales</i>	32
Figura 10. <i>Monitoreo del proceso de invasión micelial, primordios y fructificación de hongos en residuos lignocelulósicos</i>	32
Figura 11. <i>Recolección y pesado de hongos Pleurotus ostreatus fructificados en los sustratos lignocelulósicos</i>	33
Figura 12. <i>Control de pH, humedad y temperatura de sustrato por parte de los tesisistas en área experimental</i>	34
Figura 13. <i>Pesado final de residuos experimentales (A y B)</i>	35
Figura 14. <i>Proceso para determinar la biodegradación de la materia lignocelulósicos a nivel de laboratorio</i>	36
Figura 15. <i>Gráfica de normalidad Q-Q plot en base a los residuos de la variable tiempo de colonización de hongos Pleurotus ostreatus</i>	42
Figura 16. <i>Gráfica de homocedasticidad en base a los residuos sobre los predichos de la variable tiempo de colonización de hongos Pleurotus ostreatus</i>	43
Figura 17. <i>Tiempo de colonización micelial por hongos Pleurotus ostreatus en residuos lignocelulósicos según tratamientos experimentales</i>	44
Figura 18. <i>Gráfica de probabilidad de normalidad Q-Q plot en base a los residuos de la variable tiempo de biodegradación de residuos lignocelulósicos por efecto de los hongos Pleurotus ostreatus</i>	46

Figura 19. <i>Gráfica de homocedasticidad en base a los residuos y predichos de la variable tiempo de biodegradación de residuos lignocelulósicos por efecto de los hongos Pleurotus ostreatus.</i>	47
Figura 20. <i>Gráfico que muestra la distribución entre grupos y su relación entre tratamientos.</i>	48
Figura 21. <i>Gráfico de pruebas de normalidad Q-Q plot alcanzadas para los porcentajes de bioconversión realizado por los hongos Pleurotus ostreatus mediante la comparación de residuos y predichos.</i>	49
Figura 22. <i>Gráfico de pruebas homogeneidad en base a los residuos sobre los predichos de la variable porcentajes de bioconversión realizado por los hongos Pleurotus ostreatus mediante la comparación de residuos y predichos.</i>	50
Figura 23. <i>Distribución por tratamientos de los valores alcanzados para porcentaje de bioconversión.</i>	52
Figura 24. <i>Intervalo de disminución de masa en ceniza de los residuos lignocelulósicos sometidos y no sometidos a biodegradación con hongos Pleurotus ostreatus</i>	53
Figura 25. <i>Porcentaje de biodegradación por tratamiento de los residuos lignocelulósicos sometidos a hongos Pleurotus ostreatus.</i>	54

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Acondicionamiento de residuos experimentales en área de cultivo.....	85
Apéndice 2. Avance de invasión micelial y aparición de carpóforos de hongos <i>Pleurotus ostreatus</i> en los residuos experimentales.....	86
Apéndice 3. Monitoreo de unidades experimentales en el área experimental por parte de los testistas	87
Apéndice 4. Obtención de muestras con residuos no biodegradados para ser llevados a laboratorio	87
Apéndice 5. Acondicionamiento de sustratos gruesos no biodegradados en molino eléctrico para ser sometidos a calcinación	88
Apéndice 6. Obtención de cenizas de residuos de sustratos biodegradados y no biodegradados sometidos a calcinación	88
Apéndice 7. Valores del tiempo de colonización micelial de hongos <i>Pleurotus ostreatus</i> por repetición y tratamiento en residuos lignocelulósicos experimentales	85
Apéndice 8. Valores de los tiempos de biodegradación por repetición y tratamiento en los residuos lignocelulósicos mediante acción de los hongos <i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i>	86
Apéndice 9. Resultados de los porcentajes de bioconversión de hongos <i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i> por acción de los residuos lignocelulósicos experimentales	87
Apéndice 10. Cuntificacion de la biodegradación de masa lignocelulósicos entre el inicio y el final de los tratamientos experimentales empleando hongos <i>Pleurotus ostreatus</i>	88

RESUMEN

El tratamiento de residuos sólidos agrícolas es muy limitado en el distrito de Nueva Cajamarca. Por tal motivo, esta investigación planteó como objetivo Evaluar la actividad biodegradadora de desechos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus* como técnica de pretratamiento al manejo de residuos sólidos orgánicos. Los residuos experimentales fueron colectados de campos agrícolas y espacios urbanos, para el cual, se abordó una investigación experimental con enfoque cuantitativo y alcance básico. Para el estudio se emplearon 14 tratamientos en proporciones al 100 %, homogéneas y mixtas a base de residuos de bagazo de caña dulce, tuza de maíz, panca de maíz, cáscara de piña, cáscara de coco y cascarilla de arroz; los que fueron picados en tamaños de 2 a 3 cm y pasteurizados entre 75 y 80 °C. De cada tratamiento se realizaron cuatro repeticiones totalizando 56 unidades experimentales distribuidas mediante un diseño completo al azar. Cada unidad tuvo 2 kg de residuos lignocelulósicos humedecidos al que se incorporó 100 g de inóculos de hongos *Pleurotus ostreatus*. El análisis estadístico de los datos fue realizado mediante el análisis de varianza (ANOVA) al 5 %; y la comparación de medias estadísticas entre tratamientos residió por la prueba de Tukey al 5 % utilizando el programa estadístico Infostat ver. 3.2.1. Las variables de estudio estuvieron dadas por: tiempo de colonización, tiempo de biodegradación, porcentaje de bioconversión y tasa de biodegradación. Los resultados del estudio determinaron que el menor tiempo de colonización lo alcanzaron los tratamientos T11 y T4 con 23,5 y 23,75 días. Mientras que el tiempo de biodegradación osciló en 52 días con el tratamiento T1 y 64,5 días con el T5. En efecto el mejor proceso de bioconversión lo obtuvo el T4 a base de panca de maíz con 88,7 % y por consiguiente este mismo logró una biodegradación de 48,8 %. La investigación concluyó en que los hongos *Pleurotus ostreatus* poseen un efecto biodegradador de acuerdo a las características de los residuos y que los sustratos de panca de maíz al 100 % y proporciones de los sustratos investigados a 16,67 % tienen efectos positivos de biodegradación.

Palabras claves: Biodegradación, residuos lignocelulósicos, hongos *Pleurotus ostreatus*

ABSTRACT

The treatment of agricultural solid waste is very limited in the Nueva Cajamarca district. For this reason, this research aimed to evaluate the biodegrading activity of lignocellulosic waste by fungi *Pleurotus ostreatus* as a pretreatment technique for organic solid waste management. The experimental residues were collected from agricultural fields and urban spaces, for which an experimental investigation with a quantitative approach and basic scope was approached. For the study, 14 treatments were used in 100 %, homogeneous and mixed proportions based on residues of sweet cane bagasse, corn cob, corn pan, pineapple husk, coconut husk and rice husk; those that were chopped in sizes of 2 to 3 cm and pasteurized between 75 and 80 ° C. Four repetitions of each treatment were carried out totaling 56 experimental units distributed by means of a complete random design. Each unit had 2 kg of moistened lignocellulosic residues to which 100 g of inoculum of *Pleurotus ostreatus* fungi were incorporated. The statistical analysis of the data was carried out through the analysis of variance (ANOVA) at 5 %; and the comparison of statistical means between treatments was based on the Tukey test at 5 % using the statistical program Infostat ver. 3.2.1. The study variables were given by: colonization time, biodegradation time, percentage of bioconversion and biodegradation rate. The results of the study determined that the shortest colonization time was reached by treatments T11 and T4 with 23,5 and 23,75 days. While the biodegradation time ranged from 52 days with the T1 treatment and 64,5 days with the T5. In effect, the best bioconversion process was obtained by the T4 based on corn pan with 88,7 % and therefore it achieved a biodegradation of 48,8 %. The research concluded that *Pleurotus ostreatus* fungi have a biodegradable effect according to the characteristics of the residues and that 100 % corn bread substrates and proportions of the investigated substrates at 16,67 % have positive biodegradation effects.

Key words: Biodegradation, lignocellulosic residues, *Pleurotus ostreatus* fungi

INTRODUCCIÓN

Los residuos lignocelulosos son recursos naturales renovables provenientes de cultivos y plantas; es una biomasa originada por la fotosíntesis y químicamente está constituido por polímeros de azúcares de hemicelulosa y celulosa y aromáticos de lignina (Imlimthan *et al.*, 2021). La población mundial genera residuos lignocelulósicos que parten desde el cultivo hasta su comercialización e industrialización. En cierto modo, el tipo y origen depende de la posición en que se encuentran los países con respecto al ingreso económico promedio, producto bruto interno y consumo de cada habitante (Peñaranda *et al.*, 2017). Atribución que comparten Rosas *et al.* (2016), al señalar que los residuos al originarse en cualquier paso productivo no son de interés en otros procesos de producción.

Hoy en día las personas han implementado un conjunto de actividades para poder subsistir, muchas de estas actividades han terminado impactando de forma negativa el ambiente, como por ejemplo el mal manejo y disposición de sus residuos sólidos (González *et al.*, 2016). Esto no solo ha causado problemas medioambientales sino también económicos, induciendo a un mal manejo o altos costos para su disposición final (Restrepo *et al.*, 2011). La falta de gestión de estos residuos y el desconocimiento de su valor, han inducido a ser quemados, arrojados a campo abierto o simplemente arrojados a los botaderos o rellenos sanitarios dando paso que al descomponerse emitan anhídrido carbónico, se contamine el agua, haya emisión de olores nauseabundos, proliferación de vectores como moscas, insectos y roedores (Barragán *et al.*, 2008).

En nuestro país la generación promedio de residuos con propiedades lignocelulósicos hasta el 2013 fue de 10,5 millones de toneladas anual en promedio, integrados por residuos de cosechas de maíz, caña de azúcar, deshecho de algodón entre otros que representan un potencial energético acumulado de hace 10 años (Marcelo *et al.*, 2016). Sin embargo, no hay mucha información sostenida del uso de hongos basidiomicetos del género *Pleurotus ostreatus* usados en la descomposición de residuos sólidos. Solo se describen los beneficios potenciales de estos macro organismos y de la utilización de residuos como fuente de producción (Ríos *et al.*, 2017).

En el distrito de Nueva Cajamarca, Región San Martín las actividades agrícolas y agroindustriales genera abundantes residuos lignocelulósicos que son un problema ambiental, debido a que muchos agricultores lo queman o arrojan a campo abierto contaminando el suelo, aire y agua. Al momento no hay investigaciones en el ámbito local relacionados al manejo alternativo de residuos lignocelulósicos. Por tal motivo, se planteó como objetivo estimar el efecto biodegradador de residuos lignocelulósicos utilizando hongos *Pleurotus ostreatus*. Para el cual, se abordó 14 tratamientos con cuatro repeticiones cuyas variables que se evaluaron fueron el tiempo de colonización, tiempo de biodegradación, porcentaje de bioconversión y tasa de biodegradación. Cuyos resultados servirán de base para otros estudios, así como también brindará información actualizada que podría ser usada por los productores agrícolas, organismos de gestión de residuos sólidos e investigadores.

El presente estudio está estructurado en seis capítulos, en un primer momento está el marco teórico el que incorpora a los antecedentes concernientes al tema tratado y las bases teóricas que fundamentan el tema de investigación mediante la parte conceptual, principios y enfoques. Seguidamente, está los materiales y métodos que describen las pautas fundamentales de trabajo realizado. Mientras que en el capítulo tres se da conocer los resultados obtenidos y su debida interpretación, para luego ser contrastados y discutidos con otros estudios. Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones que corresponden al aporte a la ciencia y orientaciones que se recomienda seguir ante vacíos que no fueron abordados por el estudio, así mismo, sugerencias dirigidas a los investigadores, productores e instituciones para abordar la temática con mucho interés.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la actividad biodegradadora de desechos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus* como técnica de pretratamiento al manejo de residuos sólidos orgánicos

Objetivos específicos

- Conocer el tiempo de colonización de inóculos de hongos *Pleurotus ostreatus* en desechos lignocelulósicos generados en el sector agroindustrial.
- Determinar el tiempo que lleva el proceso de biodegradación de residuos lignocelulósicos agroindustriales por acción de los hongos *Pleurotus ostreatus*.
- Cuantificar el porcentaje de bioconversión de energía a partir de la biodegradación de desechos lignocelulósicos provenientes del sector agroindustrial.
- Estimar el porcentaje de biodegradación de desechos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus* de los desechos provenientes del sector agroindustrial.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Nivel internacional

Rodríguez (2015) realizó un trabajo de investigación sobre la acción degradativa de hongos basidiomicetos en residuos agroindustriales como café y plátano en la ciudad de Manizales, Caldas, Colombia. El objetivo fue apreciar la labor que desarrollan los hongos basidiomicetos en la degradación de residuos agroindustriales. El tipo de investigación fue aplicada, con un diseño completamente aleatorizado. Los hongos del grupo de los basidiomicetos seleccionados para el experimento fueron el *Pleurotus* spp y *Lentinula edades*. De los cuales, primero realizó una propagación de micelio en semillas de sorgo, arroz y trigo. Los tratamientos estuvieron constituidos por: (T1) *Pleurotus* spp + residuos de pulpa de café, (T2): *Lentinula edades* + residuos de cosechas de plátano, (T3): 50 % *Pleurotus* spp + 50 % de *Lentinula edades* residuos de frutos secos de café, (T4): Tropimezcla WP SMT Ltda. + residuos de pulpa de café, (T5): Bacthon SC Oruis Ltda. + residuos de cosechas de plátano y (T6): residuos lignocelulósicos sin hongos. De cada tratamiento realizó cinco repeticiones totalizando 30 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por 0,4 kg de sustratos, al que agregó 8 g de inóculos de hongos. Las variables de investigación a conocer estuvieron dadas por el porcentaje de carbono - nitrógeno, relación carbono nitrógeno, pH y humedad, porcentaje de materia orgánica, contenido de lignina y celulosa. El diseño empleado fue el completamente aleatorizado de una vía (ANOVA); para el análisis de comparación entre tratamientos lo efectuó mediante la comparación múltiple de Duncan al 5 %. En el análisis estadístico utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System). De los resultados obtenidos, determinó que los residuos fueron significativamente biodegradados por los hongos ($p < 0,5$); en efecto, los residuos de plátano alcanzaron una mayor biodegradación por poseer más lignina y celulosa. Sin embargo, el uso de hongos basidiomicetos mostró acción acelerante de biodegradación de residuos entre 50 % para *Pleurotus* spp y de 60 % *Lentinula edades* en

relación a C/N. Así mismo, hubo una reducción de 79 % de celulosa y lignina para residuos de café, 79 % de lignina y 92 % de celulosa para residuos de plátano; mientras que fue más bajo de residuos de fruto de café con 44 % en lignina y 57 % en celulosa. Concluyó en que los hongos basidiomicetos facilitan acelerando la biodegradación, pero que está sujeto a factores como el tipo de sustrato, hongo a usar, desarrollo del hongo, dureza del sustrato, tamaño, proporción carbono nitrógeno y rapidez oxidativa de la materia orgánica.

Córdoba y Cultid (2015) realizaron un trabajo de investigación en la ciudad de Nariño, Colombia, sobre la bioconversión de residuos sólidos de tipo agroindustrial utilizando las enzimas de hongos basidiomicetos mediante fermentación en fase sólido. El objetivo fue estudiar el efecto de la actividad enzimática lacasa, lignoperoxidasa y manganeso peroxidasa emitido por hongos *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., en crecimiento sobre residuos de raquis de plátano, bagazo de fique y palma de aceite. El estudio fue de diseño experimental, para lo cual recolectaron los residuos de los campos agrícolas que fueron desinfectados en agua caliente a 80 °C con el fin de eliminar hongos patógenos, tierra e insectos. Una vez desinfectados dejaron escurrir el agua y secados al ambiente, los sustratos grandes fueron picados en tamaño de 2 mm. Los sustratos fueron esterilizados en autoclave a 121 °C durante 20 minutos antes de ser inoculados con los hongos. La inoculación fue realizada en laboratorio utilizando equipo de cámara laminar empleando micelio comercial de *Pleurotus ostreatus* agregándose 10 g por unidad experimental de 0,5 kg. Luego colocaron en estante limpio y desinfectado con una manta oscura a una temperatura oscilante entre 15 y 22 °C. Una vez colonizados los sustratos perforaron las bolsas aumentando la humedad a 90 %. El experimento tuvo siete tratamientos integrados por: T1: Pulpa de café, T2: pulpa de café con granza de avena, T3: bagazo de fique, T4: bagazo de fique con granza de avena, T5: raquis de palma de aceite, T6: raquis de palma de aceite con granza de avena, T7: granza de avena y tres repeticiones totalizando 21 unidades experimentales. Los tratamientos yacieron distribuidos en tres bloques a través de un diseño de bloques completos al azar (DBCA). El análisis empleado para la data fue a través de un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa estadístico SPSS versión 20. Los principales resultados obtenidos fueron que el T3 alcanzó la mayor actividad enzimática de 290,1 U/L a los 24 días, seguido por el T4 con 269,47 U/L en siete días. La enzima lignoperoxidasa presentó mayor actividad en la etapa de fructificación en T1 y T2 con 47,7 y 14,3 U/L. Mientras que la enzima manganeso peroxidasa obtuvo mejor intervención a los 46 días en los residuos de bagazo de fique con

un valor de 1053 U/L siendo el mejor, por efecto de las enzimas emitido por el hongo *Pleurotus* en la biotransformación. La degradación de la pulpa de café, restos de plátano y granos de café presentaron una reducción en el peso, dichos sustratos fueron mezclados con inóculos de hongo fresco y deshidratado, los tratamientos T4 y T5 no mostraron diferencias. Los valores estadísticos evidenciaron que el efecto degradativo de los hongos en los sustratos pulpa de café y residuo de plátano fueron alentados en cambio en los frutos de café estos no presentaron degradación.

García y Villegas (2015) realizaron un estudio sobre el uso de hongos fúngicos en la biodegradación de resinas fenólicas procedentes de florerías en la ciudad de Riobamba, Ecuador. El objetivo fue evaluar la eficiencia biodegradadora de macro organismos fúngicos para establecer su potencial degradador y mejorar su comportamiento. El estudio fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo de alcance exploratorio explicativo. Las variables de evaluación fueron el porcentaje de biodegradación de residuos, eficiencia de las cepas de hongos y la temperatura como variable de control. El estudio estuvo dividido en dos fases, la primera que consistió en la recolección de la biodiversidad fúngica con características lignolíticas, de los hongos recolectados siete cumplieron con las características fenológicas, estos fueron el *Scutellinia* spp, *Trametes suaveolens* (L.) Fr., *Bjerkandera fumosa* (Pers.) P. Karst, *Xylaria polymorfa* (Pers.) Grev., *Phellinus ferreus* (Pers.) Bourdot & Galzin, *Abortiporus* spp y *Ganoderma* spp. Estos fueron conservados en glicerol al 20 % y almacenados en ultra congelación para no ser deteriorados. La segunda fase consistió en insertar los inóculos de hongos sobre los discos de resina fenólica dentro de cajas Petri por un tiempo de 90 días y que cada 15 días fueron inspeccionados visualmente. Completado el tiempo retiraron las unidades experimentales de resinas fenólicas y extrajeron los inóculos mediante el uso de ácido clorhídrico al 6N durante seis horas y secados en estufa a 110 °C durante 24 horas. La investigación tuvo siete tratamientos con inóculos de hongos agrupados en seis bloques y un testigo sin inóculo, cada bloque estuvo constituido por siete repeticiones totalizando 42 unidades experimentales. Las distribuciones de las unidades experimentales por bloque los realizaron de manera aleatoria. Para el análisis estadístico utilizaron las pruebas paramétricas de T-Student, R-Pearson a fin de calcular la relación entre los pesos de la resina con la biodegradación y correlación antes y después de haber aplicado los hongos a las resinas fenólicas. Los resultados obtenidos determinaron que los hongos de *Trametes suaveolens* tuvieron la mejor respuesta de biodegradador de 17,47 %, seguido por *Scutellinia*

spp con 17,15 %. El efecto intermedio lo obtuvieron los hongos de *Xilaria polimorfa* con 11,44 % y *Ganoderma spp* en 11,45 % no existiendo mucha diferencia significativa entre ambos. Los investigadores concluyeron que el uso de este tipo de hongos es eficiente para biodegradar materiales que en su composición tengan lignina y celulosa y además porque es una técnica amigable con el ambiente.

Cabrera (2014) realizó su estudio en la ciudad de México sobre la degradación de pañales desechables y residuos de jardinería utilizando dos variedades de hongos *Pleurotus ostreatus*. El objetivo fue medir la biodegradación de residuos de pañales desechables en mezclas con residuos de jardinería por intervención de hongos *Pleurotus ostreatus* de la variedad blanca y gris. El residuo de pañales lo recolectó de guarderías y el de jardinería de centros recreacionales privados del ámbito urbano de la ciudad de México. Los pañales fueron triturados en una rastilladora, mientras que los residuos de jardinería fueron secados al aire libre y posteriormente humedecidos. Ambos residuos antes de ser usados lo esterilizaron en autoclave a 15 libras y una temperatura de 121 °C durante 60 minutos. Los inóculos de hongos lo obtuvieron de una empresa productora y distribuidora de cepas. Para llevar a cabo el experimento elaboró los siguientes tratamientos: (T1): 100 % pasto de jardinería + hongos *Pleurotus ostreatus* variedad blanca, (T2): 100 % pasto de jardinería + hongos *Pleurotus ostreatus* variedad gris, (T3): 65 % masa de pañal completo + 35 % pasto de jardinería + hongos *Pleurotus ostreatus* variedad blanca, (T4): 65 % masa de pañal sin plástico + 35 % pasto de jardinería + hongos *Pleurotus ostreatus* variedad blanca, (T5): 65 % masa de pañal completo + 35 % pasto de jardinería + hongos *Pleurotus ostreatus* variedad gris, (T6): 65 % masa de pañal sin plástico + 35 % pasto de jardinería + hongos *Pleurotus ostreatus* variedad gris. De cada tratamiento realizó cinco repeticiones totalizando 30 unidades experimentales y cada uno ostentó cinco kilos de residuos. Así mismo, en cada repetición agregó 100 g de inóculos de cepas de hongos de manera alternada y distribuidos homogéneamente. Los tratamientos fueron instalados en un ambiente oscuro y monitoreado cada día, haciendo perforaciones de 10 cm de diámetro cada 5 cm de distancia a fin identificar algún efecto negativo. Las variables que evaluó estuvieron dadas por la eficiencia biológica, contenido de celulosa, reducción de masa volumen e identificación de subproductos. Los resultados fueron significativos ($p < 0,5$) donde la masa y volumen se redujeron en 48 % en residuo de pañal sin plástico y 40 % en pañales con plástico. Mientras que en la celulosa hubo una reducción de 68 %, en ambas variedades de hongos empleados.

Sin embargo, la eficiencia biológica no fue buena por la falta de crecimiento de los hongos, debido al exceso de humedad. Concluyó, que al usar hongos *Pleurotus ostreatus* reducen la masa y volumen de los pañales desechables hasta un 50 % y su uso mejora utilizando con residuos de jardinería.

Ramón y Ramón (2012) realizaron un estudio sobre la capacidad degradativa de residuos lignocelulósicos utilizando hongos *Pleurotus ostreatus* var. Florida en la ciudad de Riobamba, departamento de Cuenca, Ecuador. El objetivo fue comprobar el nivel de degradación de los residuos lignocelulósicos a través de los hongos *Pleurotus ostreatus* var. Florida. El estudio fue de tipo experimental con enfoque cuantitativo. Las variables que evaluaron fueron el porcentaje de fibra, ceniza, lignina y eficiencia biológica presente en los residuos agroindustriales. La metodología empleada fue la reproducción de la cepa y micelio, preparación del inóculo utilizando granos de trigo, preparación del sustrato mediante hidratación, pasteurización y por último realizaron el tratamiento antifúngico a fin de evitar infecciones por hongos y bacterias. Los residuos que utilizaron fueron pajilla de arroz (T1) y bagazo de caña de azúcar (T2), representando cada tipo de sustrato un tratamiento con seis repeticiones totalizando 12 unidades experimentales constituidas cada una por dos kilos de sustrato hidratado. El diseño estadístico usado fue completamente al azar (DCA), mediante el análisis de varianza (ANOVA) empleando el programa Minitab ver. 15. Como resultados obtuvieron que las variables evaluadas fueron significativamente diferentes ($p < 0,05$). En ambos tratamientos el hongo logró desarrollarse en un periodo de 20 a 30 días, la preparación del inóculo fue eficiente, el valor porcentual de proteína fue inferior a otros residuos ya estudiados. El porcentaje de degradación de cascarilla de arroz en fibra no fue degradado; ceniza obtuvo 13,41 % y en lignina el 15,0 % (T1). En tanto la degradación en bagazo de caña de azúcar presente en fibra fue de 4,1 %, ceniza el 24,5 % y lignina 11,96 % (T2). El promedio de eficiencia biológica en cascarilla de arroz osciló en 60,3 % y en bagazo de caña fue de 14,5 %. Concluyeron que, el bagazo de caña presentó mayor efecto biodegradador que la cascarilla de arroz por intervención del hongo, mientras que la mejor eficiencia biológica fue para el sustrato a base de cascarilla de arroz. Sin embargo, los sustratos utilizados no son los más indicados para producir hongos por ende la biodegradación también sería baja.

Mendieta y Marcillo (2012) realizaron un estudio sobre la degradabilidad de rastrojos de maíz utilizando hongos *Pleurotus sapidus* en la ciudad de Calceta del cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador. El objetivo fue establecer el nivel degradativo de los hongos *Pleurotus sapidus* sobre residuos de rastrojos de maíz para obtener un abono orgánico. La investigación fue de tipo experimental, el cual tuvo dos momentos; el primero consistió en la reproducción *in vitro* del hongo *Pleurotus sapidus* mediante el uso de medios de cultivo Papa-Agar- Dextrosa, Saburoud y Czapeck. El segundo momento, estuvo compuesto por la reproducción masiva de inóculos mediante el uso de granos de maíz hidratados que fueron incubados durante un periodo de 10 días. En esta etapa, también realizaron la preparación de los rastrojos de maíz que fueron cortados en tamaños de 3 a 5 cm de longitud e hidratados durante 24 horas y dejados por una hora para liberar el exceso de humedad. Para llevar a cabo el experimento elaboraron los siguientes tratamientos: (T1): 1 kg de rastrojos de maíz + 40 g de inóculos, (T2): 1 kg de rastrojos de maíz + 50 g de inóculos y (T3): 1 kg de rastrojos de maíz + 60 g de inóculos. De cada uno realizaron cinco repeticiones totalizando 15 unidades experimentales. El diseño experimental utilizado fue diseño completo al azar (DCA) que fueron analizados mediante el análisis de varianza al 5 % y la comparación entre tratamientos se efectuó por la prueba de Tukey al 5 % mediante el uso del programa estadístico Infostat ver. 2008. Las variables de estudio fueron el diámetro de crecimiento micelial, morfología micelial, porcentaje de lignina, porcentaje de relación carbono nitrógeno, porcentajes de nutrientes de nitrógeno fósforo y potasio y el peso promedio de cosechas de hongos. Los principales resultados alcanzados fueron, que en el agar Saburoud tuvo buen crecimiento y mejor morfología micelial a nivel *in vitro*. El mejor nivel biodegradador lo obtuvo el tratamiento T3, así mismo, cuantificaron una producción de 60 g de hongos por kilo de residuo experimental. Con respecto a la masa inicial identificaron una disminución de 88,9 % de carbono e hidrógeno. Igualmente disminuyó en 12,05 % la lignina. Sin embargo, la mayor mineralización de nitrógeno, fósforo y potasio lo alcanzó el tratamiento T1 con 0,76; 0,24 y 0,53 %. Concluyeron que el uso de hongos *Pleurotus sapidus* son una excelente alternativa biotecnológica en la biodegradación de residuos de rastrojos de maíz y excelente biomasa de uso exclusivo para abono orgánico.

Nivel nacional

Mendoza *et al.* (2019) realizaron un estudio sobre el uso desechos del despulpado de café para la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* en la ciudad de Lima. El objetivo fue

investigar la posibilidad de crecimiento y desarrollo de hongos *Pleurotus ostreatus* en subproductos del despulpado de café. El estudio fue experimental con enfoque cuantitativo, para el cual utilizaron la pulpa de café como insumo principal y viruta de bolaina como complementario. El experimento fue ejecutado en Laboratorio de Biorremediación “Luis Basto Acosta” de la Universidad Nacional Agraria La Molina y como primera actividad realizaron la caracterización fisicoquímica de los sustratos en pH, C.E, porcentaje de humedad, porcentaje de materia orgánica y porcentajes de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio. La obtención de inóculos primarios fue cultivada en semillas de trigo, cuyos micelios fueron reproducidos a nivel de laboratorio utilizando medio de cultivo papa, agar dextrosa siguiendo los procesos de pasteurización e higiene. Así mismo, los inóculos secundarios lo reprodujeron en semillas de trigo. El sustrato de pulpa de café fue deshidratado en horno a 70 °C, para luego ser hidratado conjuntamente con la viruta hasta alcanzar aproximadamente un 70 %. Posteriormente, procedieron a preparar las unidades experimentales que fueron esterilizados en autoclave durante 30 minutos a 121 °C, a estos agregaron 75 g de inóculos de hongos a cada bolsa de sustrato y fueron colocados en un ambiente oscuro a 30 ° C. En el estudio consideraron tres tratamientos formados por: (T1): 100 % viruta de bolaina blanca, (T2): 50 % pulpa de café y 50 % viruta de bolaina blanca y (T3): 100 % pulpa de café, los cuales tuvieron tres repeticiones por tratamiento, totalizando nueve unidades experimentales conteniendo 1,5 kg de peso fresco de sustratos. Las variables de evaluación fueron porcentaje de bioconversión, tasa de producción de hongos y porcentaje de biodegradador de sustratos. Utilizaron un diseño completamente al azar (DCA) cuyos resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) a una significancia de 95 %. Para la comparación de medias estadísticas entre tratamientos usaron la prueba de Tukey al 5 %. Los principales resultados obtenidos para bioconversión fueron de 37,2; 96,5 y 15,7 % para los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente. Así mismo, las tasas de producción fueron de 0,47; 0,75 y 0,13 % para los tratamientos T1, T2 y T3, en tanto, los porcentajes de biodegradación de los sustratos fueron de 22, 9; 31,8 y 14,0 % para los tratamientos T1, T2 y T3. Concluyeron que el mejor tratamiento fue el T2 por tener mejores resultados en las variables estudiados. Así mismo, que los hongos favorecen la biodegradación de los sustratos lignocelulosas estudiados, sin embargo, su efecto es en distintos porcentajes y de acuerdo a la consistencia de lignocelulosas de cada desecho.

Albán (2018) realizó un trabajo de investigación sobre el cultivo de hongos *Pleurotus ostreatus* en residuos de madera bolaina blanca provenientes de la región Ucayali. El objetivo fue estimar la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* en tres tipos de residuos procedentes del procesamiento de madera *Guazuma crinita*. El estudio fue de tipo experimental. Utilizó inóculos primarios cultivados en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Biología de la Universidad Nacional Agraria la Molina, los que fueron reproducidos de forma secundaria utilizando semilla de trigo hidratada. Los residuos experimentales fueron cáscara de madera, viruta, aserrín y como testigo utilizó paja de arroz. Los residuos de paja de arroz y cáscara de madera de bolaina fueron cortados entre 2 a 3 cm, mientras que las virutas y aserrín mantuvieron su tamaño; todos fueron humedecidos en agua por una semana hasta alcanzar una humedad de 80 %. Seguidamente, dejó escurrir el exceso de agua, luego los colocaron en bolsas de plástico a razón de 1,5 kg en mezclas homogéneas y heterogéneas que por último fueron llevados a incubación en un ambiente oscuro a 23 °C. Los tratamientos experimentales estuvieron formados por: (T1): Paja 89 % + afrecho 10 % + cal 1 %, (T2): Madera + corteza 89 % + afrecho 10 % + cal 1 %, (T3): Aserrín 89 % + afrecho 10 % + cal 1 %, (T4): Viruta 89 % + afrecho 10 % + cal 1 %, (T5): Madera + corteza 44,5 % + aserrín 44,5 % + afrecho 10 % + cal 1 %, (T6): Madera + corteza 44,5 % + viruta 44,5 % + afrecho 10 % + cal 1 %, (T7): Aserrín 44,5 % + viruta 44,5 % + afrecho 10 % + cal 1 % y (T8): Madera + corteza 29,6 % + aserrín 29,6 % + viruta 29,6 % + afrecho 10 % + cal 1 %. De cada tratamiento, efectuó cinco repeticiones totalizando 40 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron la temperatura del ambiente, humedad del sustrato, pH del sustrato, tiempo de crecimiento micelial, tiempo de duración del cultivo, eficiencia biológica, rendimiento y biodegradación de sustratos. El diseño estadístico empleado para su análisis fue el diseño completo al azar, así mismo, realizó un análisis de varianza (ANVA) y las medias estadísticas fueron analizadas mediante prueba de Tukey al 0,05 %. El principal resultado obtenido con respecto a la eficiencia biológica lo obtuvo el T4 con 44,97 %, rendimiento el T2 con 15,29 %, biodegradación fue para el T3 con 47,89 %. Concluyó que los residuos de bolaina blanca poseen buena eficiencia biológica, productividad y rendimiento. Además, que el hongo *Pleurotus ostreatus* es excelentes biodegradador de este tipo de residuos.

Cárdenas (2015) realizó un estudio sobre el dinamismo de *Pleurotus ostreatus* en residuos agrícolas generados en el distrito de Santa Ana La Convención, Cusco. El objetivo fue

estimar el efecto de cinco tipos de residuos agrícolas en la producción de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus*. La investigación fue experimental, para el cual abordaron residuos de maíz, bagazo de caña, pulpa de café, viruta, pasto braquiaria y pasto elefante. Realizó el estudio en un diseño completo al azar (DCA). Para la multiplicación del micelio de hongos *Pleurotus ostreatus*, utilizó cepas de la Universidad Nacional Agraria la Molina reproducidas en medio de cultivo papa agar dextrosa. Al realizar la multiplicación masiva de inóculos utilizó semillas de trigo hidratado y esterilizado en autoclave a 121 °C por 15 minutos, incubados a 26 °C, durante 21 días. Los residuos de pasto elefante, pasto braquiaria, rastrojos de maíz y bagazo de caña fueron secados y picados entre 3 a 5 cm y posteriormente hidratados conjuntamente con los residuos de viruta y pulpa de café durante 24 a 48 horas hasta alcanzar una humedad 70 a 75 %. Seguidamente lo dejó liberar el exceso de humedad. Para llevar a cabo el experimento, elaboró los siguientes tratamientos: (T1): rastrojos de maíz 2,5 kg, (T2): bagazo de caña 3 kg, (T3): cascarilla de café 5,5 kg, (T4): viruta 2,5 kg, (T5): pasto braquiaria 2 kg, (T6): pasto elefante 3 kg. De cada tratamiento realizó cinco repeticiones totalizando 30 unidades experimentales al que le agregó 150 g de inóculos. Los tratamientos fueron incubados en un ambiente oscuro con temperatura de 23 a 28 °C y una humedad de 80 %. Las variables de evaluación fueron tiempo de producción de hongos, eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento y tasa de degradación de sustratos. El análisis estadístico fue mediante el análisis de varianza de un factor (ANOVA); y los promedios mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey al 5 %. Los principales resultados obtenidos fueron que el menor tiempo de producción lo tuvo el T1 con 78 días, la mejor eficiencia biológica lo obtuvo el T1 con 88,93 % y la menor tasa de degradación lo obtuvo el T5 con 27,61 %. Concluyó que los hongos *Pleurotus ostreatus* además de proveer alimento degradan los residuos lignocelulosas.

Zárate (2015) realizó su estudio sobre hongos *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) con el objetivo de conocer el crecimiento y desarrollo de cuatro aislamientos a nivel *in vitro* y en etapa de campo con sustrato lignocelulósicos. El estudio fue llevado a cabo en dos momentos, el primero consistió en la reproducción micelial a nivel *in vitro*, mediante cuatro aislamientos realizado a hongos *Pleurotus ostreatus* provenientes de distintos lugares y ambientes del Perú (A1: basidocarpo comercial, A2: basidocarpo de la sierra sur peruana, A3: laboratorio de Universidad Nacional Agraria La Molina y A4: basidocarpo proveniente del norte de la región Lima). El procedimiento fue desarrollado en el laboratorio de Fitopatología de la

Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, mediante la utilización del medio de cultivo Papa-Agar-Sacarosa en placas Petri bajo medidas de asepsia, para el que utilizaron el equipo de flujo laminar. Posteriormente, los micelios de los aislamientos fueron cultivados en 150 g de trigo hidratado previamente esterilizados en autoclave. El segundo momento estuvo dado por la reproducción de hongos llevándose a cabo en el Módulo de Investigación en Hongos Comestibles de la misma universidad. Para el cual, utilizaron desechos de paja de arroz y panca de maíz que fue picado en tamaños de 3 cm de ancho, posteriormente fueron pasteurizados mediante inmersión en agua caliente a 70 °C por un tiempo de dos horas. Seguidamente, dejó escurrir el exceso de agua durante 24 horas hasta alcanzar una humedad de 70 % y a continuación embolsó los sustratos a razón de dos kilos al que agregó 30 g de inóculos secundarios de forma alternada en cada bolsa. Cada bolsa fue colocada en un ambiente oscuro para favorecer la incubación, luego controló la temperatura, humedad y la ventilación hasta alcanzar la fructificación. Para llevar a cabo el estudio, empleó ocho tratamientos constituidos por: (T1): Aislamiento 1 + panca de maíz, (T2): Aislamiento 2 + panca de maíz, (T3): Aislamiento 3 + panca de maíz, (T4): Aislamiento 4 + panca de maíz, (T5): Aislamiento 4 + paja de arroz, (T6): Aislamiento 3 + paja de arroz, (T7): Aislamiento 2 + paja de arroz y (T8): Aislamiento 1 + paja de arroz. De cada tratamiento realizó ocho repeticiones, siendo en total 64 unidades experimentales. Las variables de estudio fueron velocidad de crecimiento micelial en sustrato, porcentaje de bioconversión, tasa productiva, precocidad y biodegradación de sustratos. El experimento lo desarrolló bajo un diseño completo al azar (DCA) y aplicó el análisis de varianza (ANOVA). Los resultados mostraron que los aislamientos A2 y A1 lograron los mayores crecimientos miceliales en los sustratos, alcanzando 1,22 y 1,18 cm/día. Sin embargo, el porcentaje de bioconversión fue más significativo en los tratamientos T3, T4 y T1 con 88,18; 85,40 y 83,15 %. En tanto, la tasa de producción tuvo mejores resultados en los tratamientos T4, T3, T2 con 1,82; 1,74 y 1,67 % respectivamente. La mejor precocidad lo mostraron los tratamientos T2, T3, T4 con 10,79; 11,72 y 11,93 días. El tratamiento con mejor producción de hongo perteneció a los tratamientos T3, T4, T2 con valores de 7,60; 7,27 y 7,19 kg. Finalmente, el porcentaje de biodegradación fue más significativo en el tratamiento T4 del cual hubo un 47 % de disminución de la masa de sustrato por acción del hongo. Concluyó que con los aislamientos de hongos alcanzó mejores resultados en todas las variables con sustratos a base de panca de maíz.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Residuos lignocelulósicos

Son restos de materiales o subproductos vegetales provenientes de cosechas de la agricultura como por ejemplo residuos de cacao, pajas de arroz, panca de maíz, pajas de trigo y otros que están compuestos por células vegetales de lignina, celulosa y hemicelulosa (Dashtban *et al.*, 2009). Similar definición atribuye Cortés (2011), al señalar que la biomasa lignocelulosa está compuesto por tres ejemplares de cadenas de polímeros de celulosa, lignina y hemicelulosa, pero distinto uno del otro. Los residuos lignocelulósicos no son otra cosa que el soporte aéreo de las plantas, debido a que son microfibrillas que se agrupan en tejidos dando lugar a los tallos (Barroso, 2010). Actualmente los residuos lignocelulosos requieren de una gestión que implica costos económicos, sociales y ambientales. Sobre todo, por ser una biomasa renovable y se caracterizan por estar disponibles en abundancia, son biodegradables y biocompatibles (Gil, 2021).

a. Composición de los residuos lignocelulósicos

Según Kumar *et al.* (2009) los residuos lignocelulósicos están compuestos por lignina de 10 al 20 %, el 20 y 30 % corresponde a hemicelulosa y de 40 al 50 % es celulosa; ambas están vigorosamente entrelazadas y fusionados químicamente por enlaces no covalentes y cruzados. Similares atribuciones ostentan Madadi y Abbas (2017), al señalar que los residuos vegetales son ricos en lignocelulosa cuya composición oscila entre 35 y 50 % de celulosa, 20 a 35 % de hemicelulosa y 15 a 20 % de lignina, sin embargo, aclaran que estos polímeros se encuentran en la pared celular vegetal primaria y secundaria. La hemicelulosa y celulosa son macromoléculas compuestas constituidos por azúcares y la lignina es un polímero aromático (Gil, 2021).

La lignina es un polímero constituido por uniones de alcoholes aromáticos emparentado a la hemicelulosa y celulosa. A diferencia de la hemicelulosa que son macromoléculas constituidas por hexosas, pentosas y ácidos glucosados, sin embargo, muchos difieren según el tipo de residuo vegetal (Tabla 1). Distinta característica posee la celulosa al ser un

polímero lineal análogo de azúcar, además es el que se encuentra más privado de la degradación por estar cerca a la parte céntrica de la estructura del residuo (Sánchez, 2009).

Tabla 1

Tipos de residuos lignocelulosas y su composición

Residuos	Lignina (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)
Tallos de madera	18 a 25	24 a 40	40 a 55
Mazorca de maíz	15,0	35,0	45,0
Tallos de madera blanda	25 a 35	25 a 35	45 a 50
Cáscara de Nuez	30 a 40	25 a 30	25 a 30
Papel	0 a 15	0.0	85 a 99
Paja de arroz	18,0	24,0	32,1
Periódico	18 a 30	25 a 40	40 a 55
Estiércol solido de ganado vacuno	2,7 a 5,7	1,4 a 3,3	1,6 a 4,7
Pastos	10 a 30	25 a 50	25 a 40
Bagazo de caña de azúcar	19 a 24	27 a 32	32 a 44
Paja de trigo	16 a 21	26 a 32	29 a 35
Paja de avena	16 a 19	27 a 38	31 a 37
Paja de cebada	14 a 15	24 a 29	31 a 34
Bambú	21 a 31	15 a 26	26 a 43
Pulpa de café	18,8	46,3	35,0
Residuos de plátano	14,0	14,8	13,2

Fuente: Sánchez (2009)

b. Gestión de los residuos lignocelulósicos

En casi todo el mundo se desperdician grandes volúmenes de residuos agrícolas e industriales antes y después de las cosechas, desconociéndose el enorme potencial para generar y recuperar productos y substancias. Muchos de estos derivan de la agricultura, industria alimentaria e incluyen residuos de hojas, mazorcas, cáscara, paja entre otros. Por ejemplo, estos pueden ser gestionados eficientemente a través de su uso en la reproducción de hongos comestibles para el hombre. Debido, que de cada kilogramo de grano cosechado se producen 1,5 kg de pajas, mazorcas u otro residuo (Das y Singh, 2004).

Muchos de los residuos lignocelulósicos son eliminados mediante la quema; práctica cultural común en países pobres o emergentes, sin embargo, prohibido en países desarrollados; por tal motivo, consideran que este acontecimiento es un problema global (Hu *et al.*, 2008). Los residuos lignocelulósicos son recursos renovables y abundantes en el mundo, en efecto el mayor problema es que estos se generan día a día acumulándose ascendentemente y su degradación es lenta debido a su composición de biomasa (Kumar y Sharma, 2017).

Para Hu *et al.* (2008), la abundancia de estos residuos posee propiedades potenciales al que se le puede dar un valor agregado. Residuos que logran ser manejados mediante pretratamientos químicos, físicos y biológicos, sin embargo, marcan distancias de sus ventajas, por ejemplo, el biológico (usos de hongos y bacterias) puede generar subproductos muy beneficiosos para el suelo que no contaminan el ambiente. Muchos de estos residuos pueden convertirse en pulpa para papel, biocombustibles, alimento para animales y el hombre, compost, productos químicos, bioetanol y obtención de enzimas (Iqbal *et al.*, 2013; Koutrotsios *et al.*, 2014).

1.2.2. Problemas que enfrentan los residuos lignocelulósicos en el mundo y Perú

A nivel mundial se generan residuos lignocelulósicos que parten desde el cultivo hasta su comercialización e industrialización. En cierto modo, el tipo y origen de los residuos depende de la posición en que se encuentran los países con respecto al ingreso económico promedio, producto bruto interno y consumo de cada habitante (Peñaranda *et al.* 2017). Esta misma atribución comparten Rosas *et al.* (2016), al señalar que los residuos al originarse en cualquier paso productivo no son de interés en otros procesos de producción. Actualmente las prácticas inadecuadas de quema y eliminación sin tratamiento de los residuos sólidos de tipo agrícola e industrial son constantes en este sector, ocasionando contaminación ambiental y afectando los ecosistemas bióticos y abióticos. De igual forma se ven afectados la salud de las personas y su mala gestión tiene repercusiones económicas privadas y estatales (Ramírez, 2012).

El mundo agrícola genera cantidades importantes de residuos sólidos, entre ellos de cosechas de pulpa de café, bagazo de caña, cáscaras de legumbres, pajas y pajillas de arroz, tuza de

maíz, aserrines, tallos, hojas, entre otros. Gran parte de estos residuos orgánicos están constituidos por cantidades de lignina, celulosa, pectina y hemicelulosa (Saval, 2012). Aproximadamente el 40 % del total de residuos, poseen las características mencionadas (Delfín y Durán, 2003). Sin embargo, Sánchez y Cardona (2008) señalan que a nivel mundial se generan entre 1×10^{10} toneladas métricas por año, siendo estos subproductos aprovechados en países industrializados y en aquellos en vías de desarrollo. Estos residuos vienen siendo usados para generar biocombustible, abonos orgánicos, compostaje, alimento para animales entre otros (Vargas y Pérez, 2018). También a fin de minimizar el tiempo de descomposición se están utilizando hongos como *Lentinus edodes* (Berg.) Sing, *Phanerochaete chrysosporium* Burds, *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach, *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer y otros por tener características de ser xilófagos (Rojas, 2013).

En todo el Perú se generan toneladas de biomasa orgánica y solo una mínima parte es aprovechada por las personas y animales; en su mayoría estos residuos se constituyen en contaminantes para el ambiente que son vertidos a campo abierto, ríos, canales, enterrados o quemados. Por ejemplo, la generación promedio de residuos con propiedades lignocelulósicos hasta el 2013 fue de 10,5 millones de toneladas anual en promedio, integrados por residuos de cosechas de maíz, caña de azúcar, deshecho de algodón entre otros que representan un potencial energético, pero que no son aprovechados (Marcelo *et al.*, 2016).

a. Residuos sólidos lignocelulosas en el ámbito local

Según el Plan de Acción Ambiental Regional 2013 al 2021 elaborado por la Autoridad Regional Ambiental (2013) manifiesta que el tema de manejo de los residuos sólidos es un tema pendiente en las instituciones municipales, debido que gran parte de los residuos son dispuestos a cielo abierto y esto se agrava por el crecimiento poblacional. Dentro del ámbito urbano el 65,8 % son residuos orgánicos básicamente de alimentos, el 1,13 % papel, 1,9 % cartón como residuos lignocelulosos. En tanto, Ortiz (2015) manifiesta que el problema de los residuos agrícolas en la Región San Martín es creciente, debido a la gran variedad que se generan. Entre estos residuos lignocelulosos no cuantificados son los de cáscara de cacao.

En tanto, Godoy *et al.* (2019) manifiestan que en la amazonia peruana existe una diversidad de cultivos en cuyo proceso de transformación se generan residuos agroindustriales no convencionales que a la fecha no son utilizados como por ejemplo cáscaras, residuos de frutas, verduras, hojas, raíces, vainas, pulpas y otros. Por ejemplo, Saval (2012) manifiesta que del procesamiento de palma de aceite de la semilla el 91 % queda en residuo, en café el 90,5 % y en cacao el 90 % es también residuo. Ríos *et al.* (2017), ostentan que otra de las actividades que genera abundantes residuos en la región San Martín es el cultivo de arroz donde anualmente se siembran 101 262 ha de los cuales se generan residuos como cascarilla de arroz y broza que a la fecha no se ha aprovechado, más bien han sido quemados; igualmente, se cultivan 87 163 ha aproximadamente de los cuales en tiempo de cosechas se generan residuos como pulpa de café que no se aprovechan.

Mientras que Colmenares *et al.* (2015) especifican que a nivel de la provincia de Rioja y el Alto Mayo se generan abundantes residuos lignocelulosos derivados del despulpado de café, cáscaras de coco, cacao, cascarilla de arroz, entre otros. Ninguno de estos subproductos se le otorga algún uso más bien forma parte de la cadena de contaminación debido que se arrojan a campo abierto, botaderos, ríos, canales y otros son quemados. La pulpa de café no es muy visible porque se encuentra en los cultivos agrícolas. En tanto Azabache *et al.* (2014) califica a la pulpa de café como un desecho que puede eliminarse a las aguas de quebradas, ríos y amontonarse en los campos agrícolas.; se estima que por campaña se generan 6 996,9 tn.

1.2.3. Hongos basidiomicetos

Son un grupo importante de hongos, pues tienen fundamental contribución en el ambiente, unos se encuentran en las raíces de las plantas cumpliendo funciones como la de proporcionar alimento a las plantas mientras otras aportan agua. También existe un grupo que causan enfermedades y otras son fuente de alimentos para las personas. A este grupo pertenecen más de 30 mil especies (Rojas, 2013). Los basidiomicetos se dividen en tres subdivisiones: (a) los Agaricomycotina con 21 órdenes, (b) Pucciniomycotina con 18 órdenes y (c) Ustilaginamycotina con 9 órdenes (Hibbett *et al.*, 2007).

Un grupo de estos tienen una gran importancia en el ecosistema debido a que son descomponedores de residuos ricos en lignina y celulosa como por ejemplo *Trametes versicolor* (L.) Lloyd, *Lentinus hirtus* y *Schizophyllum commune* (Fr.) (Agrios, 2005). También se encuentran otros importantes que cumplen función mixta, entre descomponedor y alimento para el hombre; como por ejemplo el *Pleurotus spp.*, *Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach y *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, Kavaka (Sánchez y Mata, 2012).

a. Importancia de los hongos lignocelulósicos

Los hongos filamentosos o más conocidos como hongos de podredumbre blanca son capaces de biodegradar una diversidad de contaminantes ambientales perdurables en el ambiente como hidrocarburos aromáticos heterocíclicos, compuestos aromáticos clorados y polímeros sintéticos. Estos son muy importantes debido a la actividad oxidativa, desgastan la pared celular en presencia de humedad, un ejemplo de estos hongos son *Phanerochaete chrysosporium* Burds, *Coprinopsis cinérea* (Schaeff.) Redhead, *Pleurotus ostreatus*, *Postia placenta* (P.) MJ Larsen & Lombard, *Schizophyllum commune* Fr., *Agaricus bisporus*, *Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Schröt entre otros (Sánchez, 2009).

Para Chen *et al.* (2010) el pretratamiento por efecto de hongos todavía no ha sido bien desarrollado, tampoco brindado mucha importancia, sin embargo, señalan que tratar residuos con este tipo de seres biológicos tiene un sin número de beneficios. Estos tratamientos biológicos se caracterizan por poseer o mostrar una voluntad amigable con el medio ambiente y no demandan de energía, más bien favorecen evitando que otros organismos patógenos ingresen a su hábitat a generar problemas. Estos generan subproductos resultantes que son muy benéficos para el suelo, el hombre y los animales. Asimismo, las enzimas de los hongos basidiomicetos y otros tipos de hongos descomponedores actúan sobre los residuos lignocelulósicos por un orden sincronizado, interviniendo en primera instancia las enzimas lignosas desbloqueando los polímeros de lignina y dar paso a enzimas de la celulosa permitiendo la sacarificación de los residuos.

1.2.4. Hongos *Pleurotus ostreatus*

Para Mikiashvili *et al.* (2006), los hongos *Pleurotus* son conocidos comúnmente como hongo blanco u ostra que poseen esporas adheridas a sus branquias. Estos hongos se adaptan muy bien a una serie de residuos para reproducirse y alimentarse debido a que poseen enzimas hidrolíticas y ligninolíticas biocatalizadoras. Adebayo y Martínez (2015) atribuyen que los *Pleurotos* pueden ser usados en distintas aplicaciones biotecnológicas como bioconversión, desintoxicación y biorremediación de contaminantes. Este género de hongo posee un birrete de 5 a 20 cm de diámetro, el estípite se encuentra en la parte lateral del gorro y son de color amarillo, blanco, gris y rosa. Su reproducción es sexual y asexual. Presenta la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 1).

Tabla 2

Clasificación taxonómica del hongo Pleurotus ostreatus

Nombre científico	<i>Pleurotus ostreatus</i>
Filo	Basidiomycotina
Clase	Basidiomycetes
Subclase	Holobasidiomycetidae
Familia	Polyporaceae
Especies	<i>Pleurotus Pulmonarius</i> (P.) Quél, <i>Pleurotus sajor-caju</i> (P.) Cantante, <i>Pleurotus membranaceus</i> Masee, <i>Pleurotus sapidus</i> Quél, <i>Pleurotus eous</i> (Berk.) Sacc., <i>Pleurotus citrinopileatus</i> Cantante, <i>Annales</i> , <i>Pleurotus flabellatus</i> Sacc., <i>Sylloge Fungorum Pleurotus florida</i> (Mont.) Cantante y otros.

Fuente: Adoptado de Adebayo y Martínez (2015).

a. Morfología del hongo *Pleurotus ostreatus*

En el desarrollo de estos hongos se pueden visualizar dos partes integrados por el cuerpo vegetativo y el cuerpo reproductor, el primero se encuentra entre el sustrato colonizado por las hifas dando lugar al micelio. En tanto, el sombrero del hongo o también carpóforo es la parte reproductiva, debajo del sombrero se encuentra unas láminas en forma de pliegues llamadas himenio que es el lugar que dan lugar a las esporas (Barba y López, 2017).

Los *Pleurotus ostreatus* se desarrollan de forma escalonada en forma de racimos sujeto de un pie muy corto que muchas veces no es visible. Los sombreros llegan a medir entre 5 a 10 cm y posee característica esponjosa y lisa; también este constituye la parte fructífera que posee forma convexa con márgenes irregulares (Figura 1). Su color es variable pasando de gris claro a marrón oscuro mientras madura (Alder y Zubillaga, 2014).

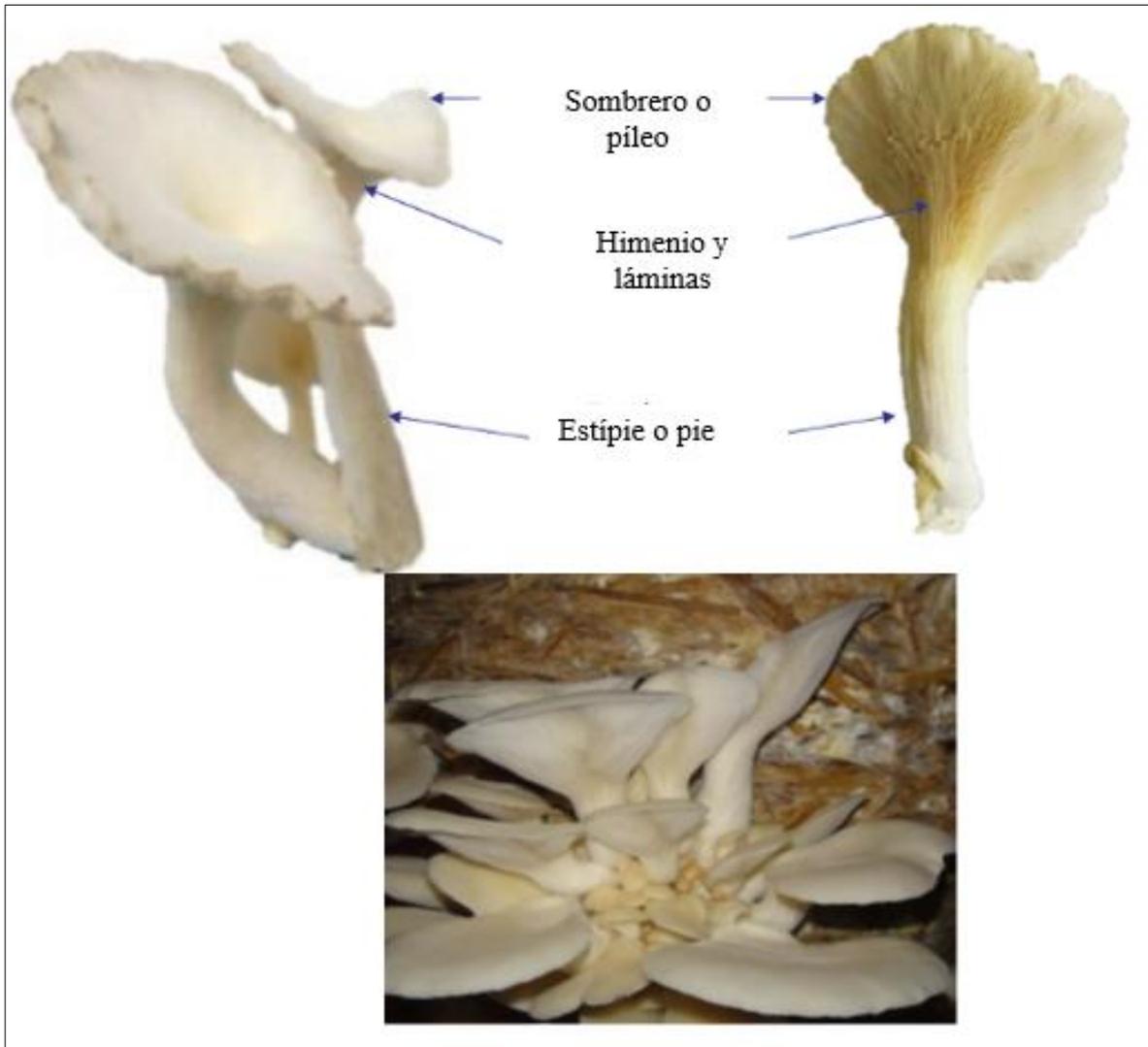


Figura 1. Características físicas del hongo *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Barba y López (2017, p.9).

b. Ciclo reproductivo del *Pleurotus ostreatus*

El hongo *Pleurotus* es un saprofito que carece de clorofila y solo es favorable su existencia cuando hay la presencia de residuos lignocelulósicos en descomposición, estos se reproducen mediante esporas sexuales que se producen en los basidios ubicados en basidios

laminares ubicados debajo del carpóforo o sombrero del hongo (Ortiz y Muñoz, 2013). El proceso productivo sucede cuando se liberan las esporas en las condiciones de humedad y temperatura adecuada, dando paso a las hifas que se extiende en el sustrato o madera en descomposición y seguidamente da paso la formación del micelio que da lugar a la aparición de los primordios (Figura 2), el que dará paso a un nuevo fruto (Alder y Zubillaga, 2014).

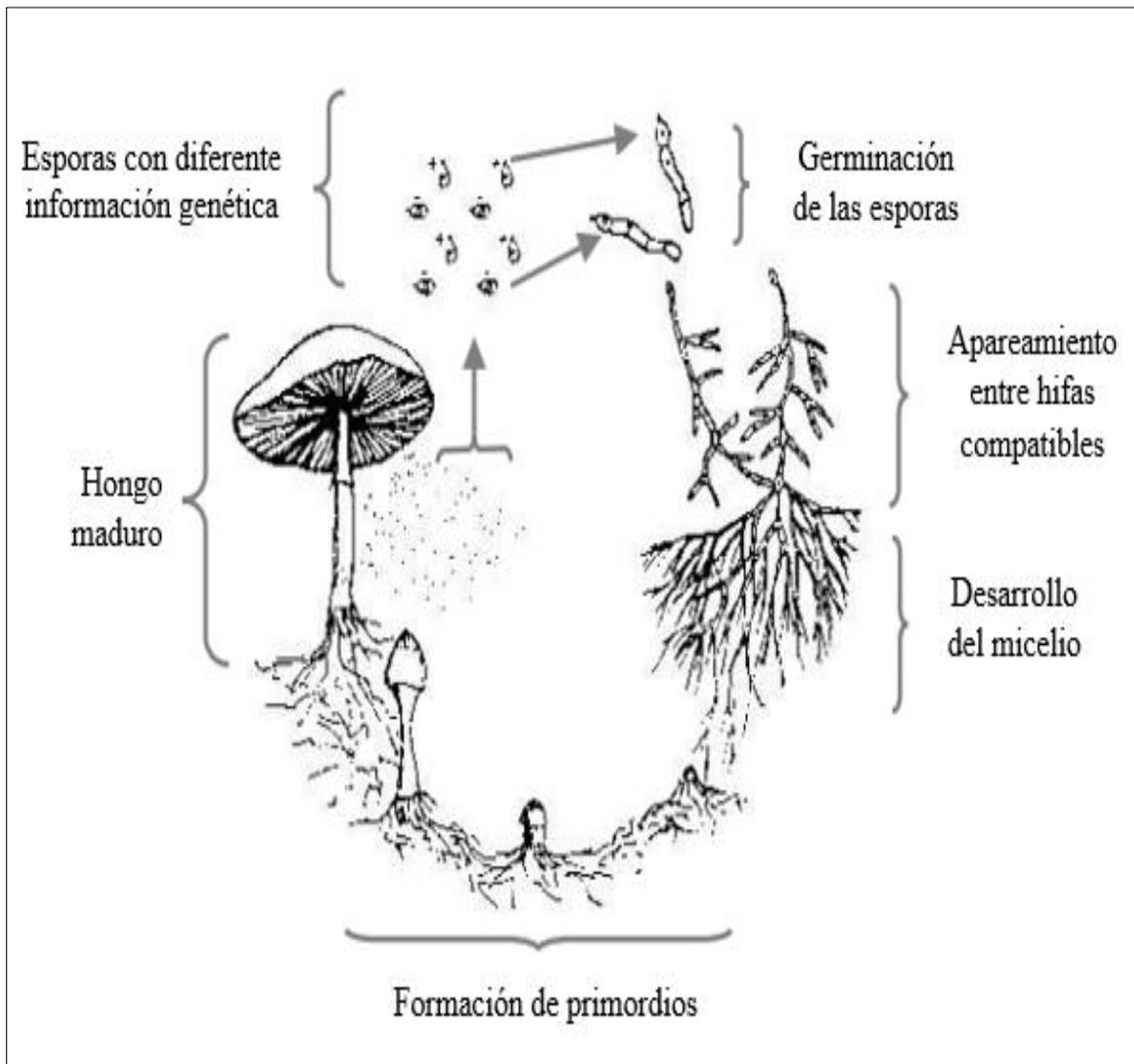


Figura 2. Esquema del proceso reproductivo de los Hongos *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Gaitán *et al.* (2006, p.4).

1.2.5. Consideraciones en el cultivo de hongos *Pleurotus ostreatus*

a. Tiempo de colonización de los hongos *Pleurotus ostreatus* en los residuos lignocelulósicos

Para Garzón y Cuervo (2008), el tiempo de colonización se da por concluido cuando el micelio ha invadido todo el sustrato y se observa una tonalidad blanquecina y algodonosa. Sin embargo, Ríos *et al.* (2010), atribuye que el tiempo de invasión micelial en los residuos lignocelulósicos no es estándar, debido que influyen factores como el tamaño de los residuos, el nivel de humedad, la cantidad de retención de agua, el pH y los macro y microorganismos que terminan inhibiendo o generando pudrición de los inóculos. Teóricamente el tiempo promedio de colonización por los micelios de hongos *Pleurotus ostreatus* debe ser de 20 días (Barba y López, 2017), sin embargo, Cruz *et al.* (2011) extiende el tiempo entre 20 y 30 días.

b. Tiempo de biodegradación

El proceso de biodegradación de los residuos lignocelulósicos arranca desde la fase invasión micelial por lo que se puede considerar a esta etapa y la fructificación como el tiempo total de biodegradación, sin embargo, en la etapa de invasión micelial hay mayor consumo de carbohidrato soluble y hemicelulosa a diferencia de la fructificación que se consume lignina y celulosa (Iriarte, 2003 citado por Rivera *et al.*, 2013; Salmones *et al.*, 2005; Okano *et al.*, 2007). Conforme los hongos van creciendo a nivel de micelio estos empiezan a biodegradar y aumenta este proceso cuando los sustratos receptionan las distintas enzimas, cuyos nutrientes son captados mediante las hifas del micelio (Gaitán *et al.*, 2006).

El tiempo teórico de acción de los hongos sobre los sustratos, es de un promedio de 60 días luego estos crecen pequeños debido a la disminución de nutrientes que necesitan para desarrollarse (Cruz *et al.*, 2011; Arias *et al.*, 2005). Para Ardón (2007), comúnmente el tiempo oscila entre 46 a 49 días. En tanto, Holgado (2018) manifiesta que el tiempo de acción de los hongos *Pleurotus ostreatus* una vez instalado en los residuos sólidos oscilan entre 65 y 84 días.

c. Proceso de bioconversión de residuos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus*

El nivel de bioconversión está dado por la acción biodegradadora que ejercen los hongos *Pleurotus ostreatus* mediante acciones metabólicas que aprovechan de los sustratos para crecer y el nivel de aprovechamiento está en relación con las características fisicoquímicas de los sustratos lignocelulósicos (Barba y López, 2017). De acuerdo con Mandeel *et al.* (2005), el proceso de bioconversión de los hongos *Pleurotus ostreatus* sobre los residuos lignocelulósicos da origen a la generación de alimento ricos en proteínas y minerales que pueden contribuir como insumo para la seguridad alimentaria de los países en vías de desarrollo.

Los procesos de bioconversión radican principalmente en la reducción de lignina y celulosa en un 80,0 %, sin embargo, este aprovechamiento tiene relación con el tipo de sustrato a emplear (Ardón, 2007). Para que el proceso de bioconversión sea idóneo, este debe ser igual o mayor al 50,0 % (Sánchez *et al.*, 2006 citado por Garzón y Cuervo, 2008). Esta afirmación se fundamenta con lo señalado por Romero *et al.* (2010) al atribuir que los hongos *Pleurotus ostreatus* son capaces de bioconvertir hasta un 60 % los residuos en alimento.

d. Efecto biodegradador de los hongos *Pleurotus ostreatus*

El hongo *Pleurotus ostreatus* como biodegradador de residuos lignocelulósicos es efectivo debido que se consigue degradar entre el 61,0 y 88,0 %. Así mismo, esto implica una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero al no gestionarse adecuadamente estos residuos en los vertederos que terminan afectando el aire y la salud (Durán *et al.*, 2019). Según Chang y Miles (2004) los sustratos usados en el cultivo de hongos son parcialmente degradados por una gran variedad de enzimas extracelulares que derivan de estos hongos de podredumbre blanca.

Según Iriarte (2003) citado por Rivera *et al.* (2013), la biodegradabilidad de residuos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus* están en relación con la disponibilidad de las moléculas, debido que existen residuos de fácil y lenta degradabilidad. En tanto, Delfín y Durán (2003) manifiestan que la biodegradabilidad de los residuos lignocelulósicos está

sujetos a múltiples variables como la actividad enzimática, propiedades del sustrato, el tipo de cepa, condiciones ambientales como la temperatura y humedad. Los sustratos biodegradados por hongos *Pleurotus ostreatus* también se les denomina sustratos predigeridos y son idóneos para distintos usos como el de consumo para animales. Los residuos que muestran una baja degradabilidad están en relación al tipo de sustrato, uniformidad de invasión de micelio y los porcentajes de bioconversión (Barba y López, 2017). En tanto Arias *et al.* (2005), menciona que los procesos de biodegradación constituyen un proceso complejo y que este efecto por los hongos *Pleurotus ostreatus* dependen significativamente de la relación que contienen los residuos entre la lignina, celulosa y hemicelulosa.

Los hongos *Pleurotus ostreatus* pertenecen al grupo de los basidiomicetas cuyo grupo son excelentes biodegradadores y bioconvertidores por poseer un gran número de enzimas lignolíticas (Kulikova *et al.*, 2011). Se adaptan muy bien a distintas formas perjudiciales que ocurren en el ambiente que tengan que ver con la descomposición natural de lignocelulosa, debido que poseen dos tipos de sistemas enzimáticos necesarios para la biodegradación de la biomasa vegetal. Entre este complejo enzimático se encuentran las enzimas hidrolíticas xilanasas y celulasas cuya función es romper las moléculas de polisacáridos. Como segundo grupo se encuentran las enzimas lignolíticas oxidativas integrado por lacasas, ligninasas y peroxidasas que rompen los anillos de fenilo y lignina (Peralta *et al.*, 2017).

Sin embargo, el poder biodegradador sobre los residuos lignocelulosos le otorgan las enzimas que producen los hongos, mientras más se oxidan los residuos se genera un efecto mediador que estimula la continua producción de enzimas entre ellas las lacasas (Atilano *et al.*, 2016). Las enzimas xilanasas, celulasas lacasas, ligninasas y peroxidasas también se les conoce como biodelignificadoras, debido que son los descomponedores extracelulares más efectivos de la lignocelulosa de manera eficiente, sin embargo, para que suceda de forma exitosa la biodelignificación es necesario someter los residuos a pretratamientos físicos, químicos o biológicos (Suryadi *et al.*, 2022).

1.2.6. Pretratamiento de residuos lignocelulósicos

El pretratamiento de residuos lignocelulósicos son un medio para fraccionar los polímeros de lignina y cadenas de carbohidratos a monómeros de azúcar y amplificar la porosidad (Hu *et al.*, 2008). Para romper la composición de estos residuos se ha implementado un conjunto de tecnologías y métodos, entre ellos se encuentran el pretratamiento físico (combinación mecánica y pirolisis), fisicoquímico (explosión por vapor, explosión amoniacal y explosión por dióxido de carbono), químico (ozonólisis, hidrólisis ácida y alcalina y delignificación oxidativa), biológico y pretratamiento de campo eléctrico pulsado. La mayoría de las tecnologías señaladas demandan de instrumentos y energía muchos de ellos costos, sin embargo, el pretratamiento biológico utiliza un sinnúmero de hongos de pudrición y es amigable con el ambiente (Kumar *et al.*, 2009).

El pretratamiento es un conjunto de procedimientos que implican aturdir la corpulencia macroscópico, microscópico, semimicroscópica y química para favorecer la intervención hidrolítica de los monosacáridos y polisacáridos de los residuos y disminuir el tiempo de degradación de la biomasa lignocelulósicos (Grupta y Verma, 2015). Una descomposición tradicional sin intervención de ningún tratamiento se produce menos del 20 % de sus azúcares que lo componen, sin embargo, con un pretratamiento se alcanza a liberar hasta el 90 % (Alizadeh *et al.*, 2005). Similares atribuciones realizan Madadi y Abbas (2017), al manifestar que el pretratamiento de residuos lignocelulósicos es uno de los mejores procesos de reconversión de la biomasa a biocombustibles u otros productos. Y el pretratamiento biológico es uno de los métodos eficaces.

Sin embargo, para Chen *et al.* (2010), el pretratamiento biológico usa organismos vivos que suscitan la disgregación de lignina, hemicelulosa y celulosa, también hay reportes que el tratamiento a pesar que es amigable con el ambiente es relativamente largo su efecto biodegradador. De igual modo Putro *et al.* (2016), añaden que los métodos de pretratamiento biológico se verán afectados en la temperatura, pH e inhibidores si no se siguen las pautas y condiciones de estos seres vivos. Estos macro organismos descomponedores están tres principales grupos de hongo como son: el de podredumbre parda, blanca y blanda.

Kumar y Sharma (2017) agrupan los pretratamientos de estos residuos en biológicos y no biológicos (Figura 3). En el contexto vigente son pocas las iniciativas implementadas a pesar de no existir limitaciones para su ejecución, bien sea nivel piloto o de más amplitud (Sindhu *et al.*, 2015). Sin embargo, el pretratamiento biológico es económico a diferencia de las otras técnicas; de lo que si demanda este procedimiento es que se desarrolla en condiciones estériles, demanda de tiempo para tener buenos resultados y no es recomendable con fines industriales (Chaturvedi y Verma, 2013).

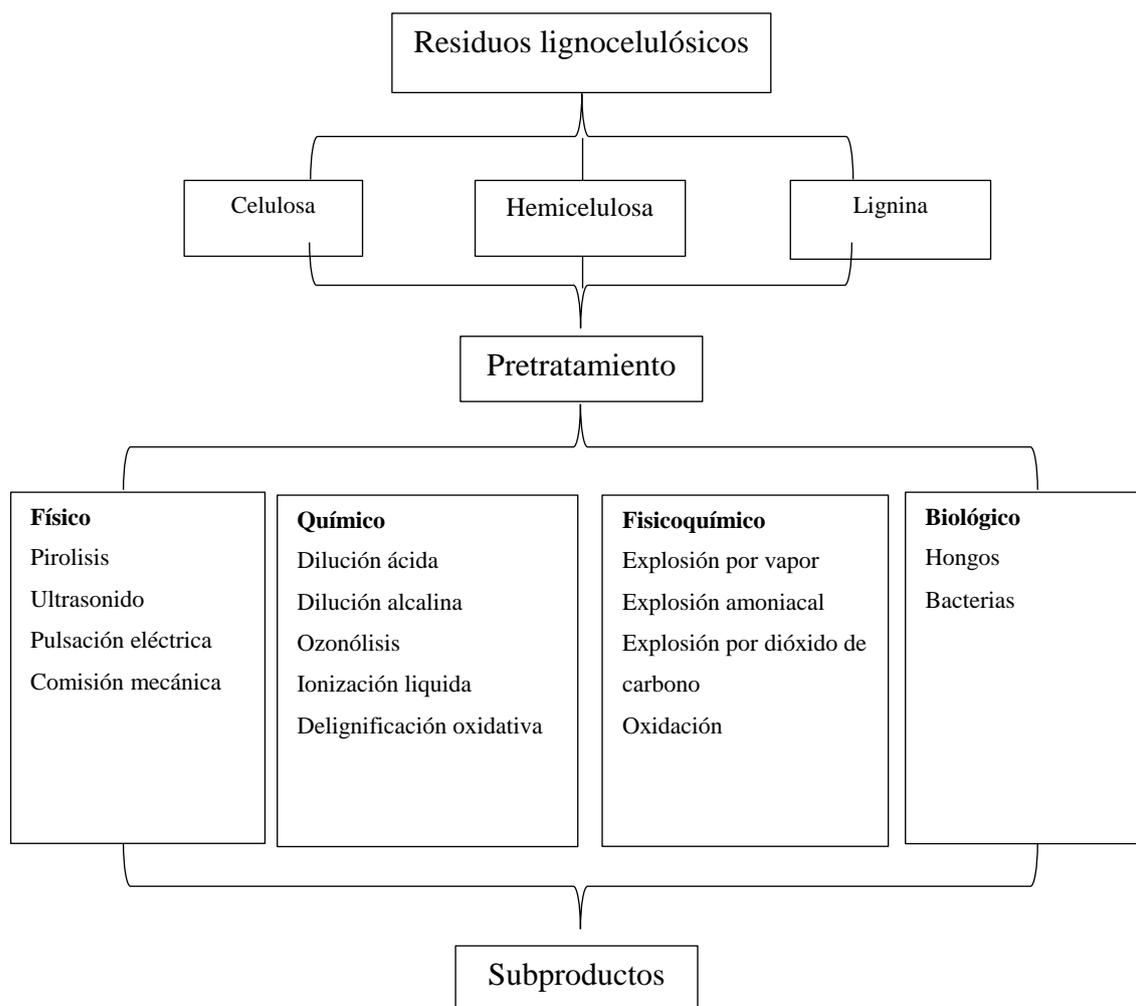


Figura 3. Tipos de tratamiento de residuos lignocelulósicos. Fuente: Kumar y Sharma (2017).

a. Parámetros de control del pretratamiento biológico

Para realizar la ejecución de un procedimiento de pretratamiento biológico tendría que vigilarse con rigurosidad parámetros importantes debido a que podrían interferir en el proceso. Entre estos se mencionan el tipo de residuos, tipo de micro o macro organismo, pH, temperatura para la incubación, cantidad de inóculos, nivel de aireación y nivel de humedad

(Sindhu *et al.*, 2015). En tanto, Rodríguez *et al.* (2006) atribuyen que los requerimientos necesarios para el crecimiento y desarrollo de hongos comestibles están dados por un adecuado manejo de los factores físicos como la temperatura, aireación, pH, humedad, luz y tamaño del sustrato.

Tipo de residuos. Se debe utilizar residuos después de las cosechas y maduros debido a que estos proporcionan mejores niveles de azúcares mono y polisacáridos (Kumar y Sharma, 2017).

Temperatura. Este parámetro depende del organismo descomponedor a utilizar. Por ejemplo, los ascomicetos soportan temperaturas de crecimiento de 39 °C, mientras que los basidiomicetos u hongos blancos crecen favorablemente entre 25 y 30 °C de temperatura. La acumulación de calor puede destruir o privar el crecimiento, además alterar su metabolismo (Millati *et al.*, 2011). Tiempo de incubación. Según Du *et al.* (2011), este proceso dependerá del tipo de biomasa a utilizar y el género de cepa de microorganismo a utilizar.

Humedad. El contenido de humedad inicial y su mantenimiento es importante en la afectación de los residuos lignosos y celulósicos. Por ejemplo, se han establecido que la humedad entre 70 y 80 % es muy óptimo. También es importante tener la relación entre residuo y el tipo de hongos o bacteria que se ocuparan en el proceso (Kuijk *et al.*, 2015).

Agente biodegradador. Se puede utilizar hongos del género basidiomicetos de preferencia de aquellos descomponedores de madera tanto de coloración parda, blanca y blanda, estos son excelentes sacarificadores por las enzimas que posee. También se puede utilizar en consorcios de hongos que podrían tener mejores resultados que uno solo (Gao *et al.*, 2012).

Aireación. Este factor juega un papel muy importante para mantener ventilado el espacio, eliminar el anhídrido carbónico resultante del metabolismo y disipar el calor (Millati *et al.*, 2011).

Potencial de hidrógeno. Este factor químico es importante porque afecta el proceso de biodegradación; debido que la función normal de los hongos es disminuir los niveles ácidos

durante su crecimiento. La mayoría de hongos soportan pH en rangos de 4 a 5, si cambia este valor se verían afectados algunas enzimas como la Lacasa (Patel *et al.*, 2009).

Cantidad de inóculos. Para Kuijk *et al.* (2015), debería existir relación entre la cantidad de inóculos y el tiempo para colonizar el sustrato que se pretende descomponer, es decir, a mayor concentración menor tiempo la invasión con hongos.

Tamaño de los residuos. Los residuos deben ser de tamaño óptimo para tener excelentes resultados. Si son muy grandes, esto dificultara la oxigenación, humedad y el ingreso de los metabolitos que expenden las enzimas (Sindhu *et al.*, 2015).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación tuvo un diseño experimental completamente al azar, porque se evaluaron distintos residuos lignocelulósicos a pruebas de biodegradación por hongos del *Pleurotus ostreatus*. Según Arias (2012) una investigación es experimental cuando se somete algún objeto o material a estímulos y contextos controlados con el objetivo de conocer la influencia, efecto o resultado entre dos variables. El enfoque de estudio fue de tipo cuantitativo porque se midieron los fenómenos producto de las variables de estudio el que se utilizará estadística para probar hipótesis planteadas. Según Hernández *et al.* (2017) el enfoque cuantitativo se caracteriza por ser objetivos, secuenciales, deductivos y probatorios. Así mismo, el alcance de investigación fue básico; para Cortés y Iglesias (2004) con este alcance se aborda principios básicos del conocimiento científico para responder a preguntar y de esa manera aportar al conocimiento científico.

2.1.1. Lugar y fecha

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la zona rural del distrito de Nueva Cajamarca en la propiedad de la familia Mendoza Pérez ubicado en el caserío de Palestina (Figura 4). El que se encuentra aproximadamente a 880 m s.n.m., posee un clima húmedo a semicálido, con temperaturas de 18 °C a 28 °C. Siendo los meses de diciembre a abril los períodos de invierno y lluvia; y el resto de meses son de verano con lluvias intempestivas. Las precipitaciones en promedio son de 1000 y 1400 mm/año (Municipalidad Distrital de Nueva Cajamarca, 2006).

La ejecución de actividades contempladas en la siguiente investigación fue iniciada en el mes de marzo y culminó en noviembre del año 2020; teniendo una duración de ocho meses.

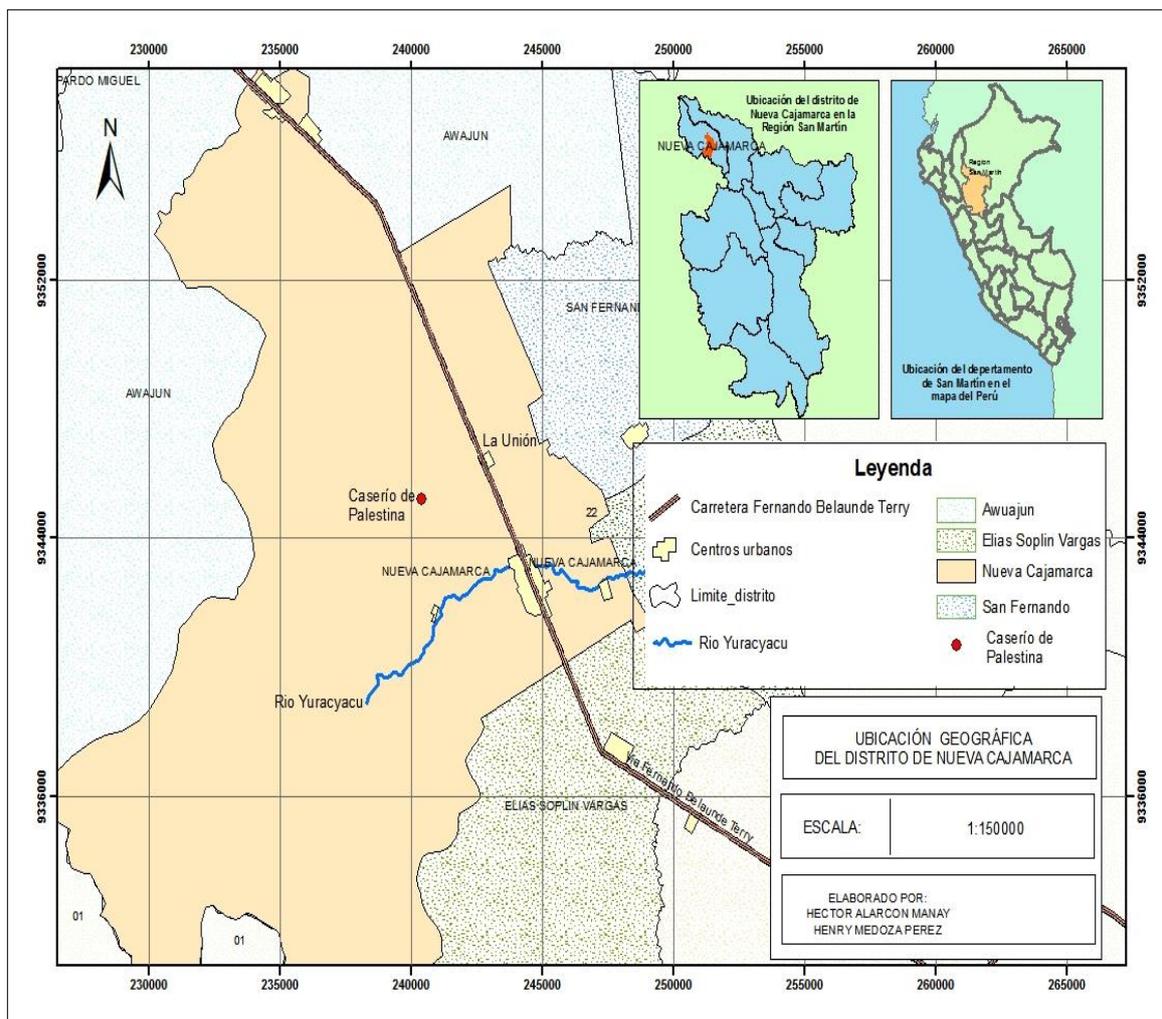


Figura 4. Ubicación geográfica del caserío de Palestina en el distrito de Nueva Cajamarca. Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Descripción del experimento

a. Recolección de residuos lignocelulósicos. Los residuos utilizados en el experimento fueron cascarilla de arroz de una molinera, bagazo de caña de un trapiche local, tuza de maíz, panca de maíz de una chacra agrícola, cáscara de piña y cáscara de coco de bodegas del ámbito urbano de la ciudad dedicados a la venta de este producto. Se recolectó un aproximado de 5 kg de cada residuo en sacos de polipropileno limpios y transportados en un furgoneta al centro eperimental (Figura 5).



Figura 5. *Recolección de residuos lignocelulósicos de panca de maíz (A) y bagazo de caña de chacras agrícolas en la jurisdicción del caserío Palestina. Figura: Elaboración propia.*

b. Acondicionamiento de los residuos. Los residuos de bagazo de caña dulce, tuza de maíz, panca de maíz, cáscara de piña y cáscara de coco fueron picados manualmente con un machete en tamaños de 2 a 3 cm de longitud. Luego fueron secados a temperatura ambiente por siete días, a excepción de la cascarilla de arroz (Figura 6 y Apéndice 1). Tanto el tamaño de los reiduos y el secado se realizó bajo los procedimientos sugeridos por Barba y López (2017).



Figura 6. *Acondicionamiento de residuos lignocelulósicos a temperatura ambiente. Fuente: Elaboración propia.*

c. **Obtención de inóculos de *Pleurotus ostreatus*.** Se obtuvo 1 kg de inóculo secundario de un pequeño productor dedicado al cultivo de hongos, quien viene cultivando hongos con fines de beneficio familiar. Los inóculos secundarios fueron reproducidos en 3 kg de trigo; el cual primero fue hidratado por un tiempo de seis horas, seguidamente se dejó escurrir el exceso de agua durante 12 horas. Consecutivamente, procedieron al proceso de esterilización en autoclave, para el cual acondicionaron seis bolsas con trigo hidratado de 500 g cada uno y aseguraron las bocas con algodón hidrófilo amarrado con una cinta adoptando la forma de un cuello de botella. Una vez asegurado se colocaron en el autoclave y esterilizaron a 121 °C por un periodo de tiempo de 20 minutos. Culminado la esterilización se dejó enfriar y luego se añadió 5 g de cal continuando con la homogenización; seguidamente se incorporó 125 g de inóculo secundario a cada bolsa e igualmente se homogenizó. Se rotuló y colocó en incubación en un ambiente oscuro por un periodo de 15 días (Figura 7). Los procedimientos básicos de reproducción de inóculos se basó los procedimientos descritos por Gaitán *et al* (2006). Esta actividad se llevo a cabo en los ambientes del laboratorio de Ciencias basicas de la Univeridad Católica Sesdes Sapientiae Filial Rioja: Nueva Cajamarca.



Figura 7. Actividades y procedimientos para la obtención de inóculos de *Pleurotus ostreatus* a partir de inóculos secundarios. Fuente: Elaboración propia.

d. Preparación de residuos experimentales. Una vez picado los residuos se colocaron en sacos tipo malla y se pesaron a fin de registrar el peso seco de cada sustrato. Seguidamente, se pasteurizaron los residuos; el que consistió en sumergir en agua caliente a una temperatura entre 75 y 80 °C durante una hora cada tipo de residuo lignocelulósicos, para el cual se utilizó una olla de aluminio de 60 litros de capacidad y una concina semi industrial a gas. Culminado el tiempo de pasteurización se dejó escurrir el exceso de humedad en un saco tipo maya por un lapso de 12 horas y seguidamente se vació en carpas de plástico (Figura 8, Apéndice 1). Todo este procedimiento fue realizado en base a las indicaciones de Barba y López (2017).

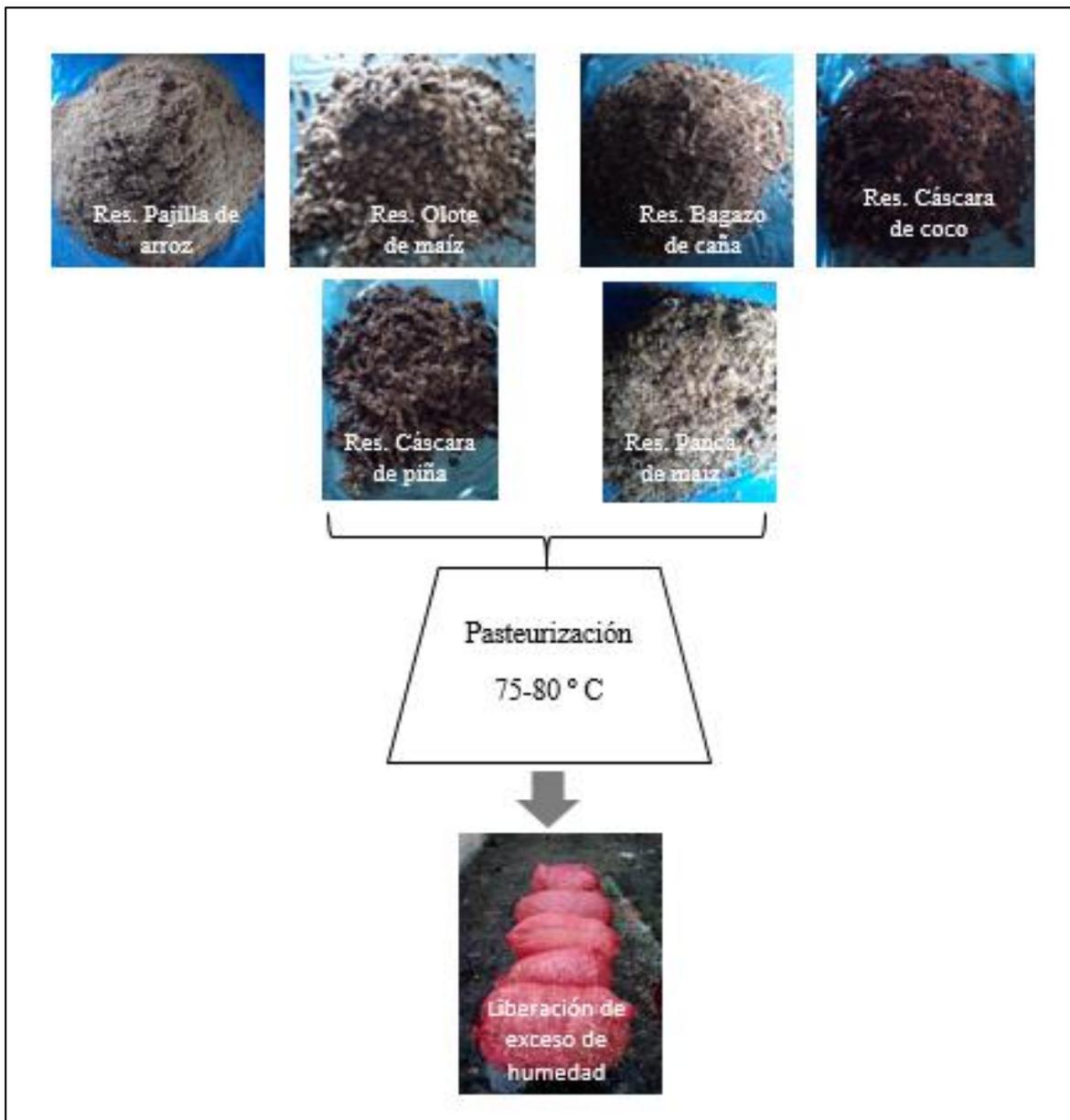


Figura 8. Proceso de preparación de residuos lignocelulósicos mediante pasteurización.
Fuente: Elaboración propia.

e. Agregación de inóculos. Previamente pasteurizado y escurrido los residuos lignocelulósicos experimentales, se procedieron a intercalar manualmente capas alternas entre residuos con inóculos, este procedimiento fue en base al sugerido por Gaitán y Silva (2016). La mezcla fue uniforme y en cada bolsa se colocó dos kilos de residuo húmedo más 100 g de inóculos (Figura 9).



Figura 9. Proceso de agregación de inóculos en residuos lignocelulósicos experimentales. *Fuente:* Elaboración propia.

f. Periodo de incubación e invasión micelial. Con las bolsas cerradas se colocaron en incubación suspendidos en un ambiente oscuro, hasta que el micelio cubrió el sustrato. En este periodo se realizó revisiones periódicas cada tres días para detectar posibles anomalías. Una vez colonizado se realizó cortes a las bolsas de plástico, para favorecer el intercambio de oxígeno y la proliferación de hongos *Pleurotus ostreatus*, en esta etapa se registró el tiempo de invasión micelial (Figura 10, ver Apéndice 2 y 3). Las actividades ejecutadas en esta etapa se realizaron en base a los procedimientos descritos por Rodríguez *et al.* (2006).

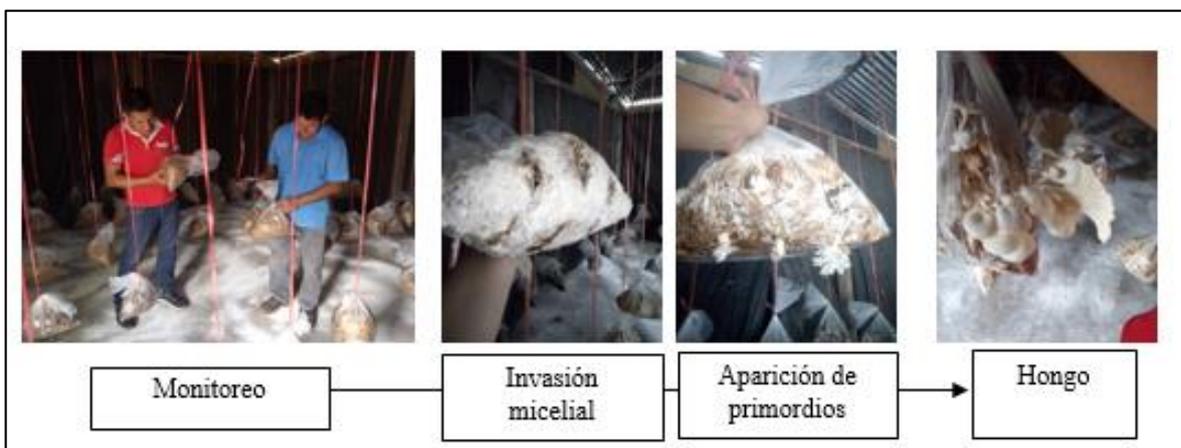


Figura 10. Monitoreo del proceso de invasión micelial, primordios y fructificación de hongos en residuos lignocelulósicos. *Fuente:* Elaboración propia.

g. Recolección de hongos. Una vez completada la fructificación se recolectó los hongos y se mantuvo los sustratos en las bolsas para evitar pérdida de biomasa lignocelulósica. Los hongos recolectados fueron pesados en una balanza gramera y registrados los datos de acuerdo al sustrato experimental (Figura 11).



Figura 11. Recolección y pesado de hongos *Pleurotus ostreatus* fructificados en los sustratos lignocelulósicos. *Fuente:* Elaboración propia.

h. Control de factores ambientales. Durante la etapa experimental la temperatura y humedad del espacio fueron controlados utilizando un termo higrómetro manteniendo un ambiente entre 18 y 28 °C. Para el caso de las unidades experimentales se llevó un registro del pH por semana después que sucedió la colonización, este dato se obtuvo de la parte céntrica del volumen del residuo, se utilizó un pHmetro de los que se utilizan para valorar el pH del suelo (Figura 12). El control de variables ambientales y química se justificó en las recomendaciones sugeridos por Sánchez y Mata (2012).



Figura 12. Control de pH, humedad y temperatura de sustrato por parte de los tesistas en área experimental. Fuente: Elaboración propia.

i. Tiempo de finalización y pesado de residuos biodegradados y no biodegradados. Se dió por concluido el efecto biodegradador de los hongos cuando estos dejaron de emitir carpóforos. Este fue un indicador que se habían agotado la lignina, hemicelulosa y celulosa de los residuos por ser el principal alimento de estos hongos; esta apreciación se tomó en base a lo descrito por Barba y López (2017). El valor final de tiempo en que duró la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* se registró en una ficha de apuntes a fin realizar los análisis con respecto a cada tipo de residuo experimentado. Para el pesado de los residuos una vez culminado la fructificación de hongos, primero se dejaron secar por siete días a temperatura ambiente y seguidamente se realizó el pesado en una balanza gramera. También se pesaron muestras de residuos no sometidos a degradación que nos sirvieron como sustrato base (Figura 13 A y B, ver Apéndice 4). Los valores alcanzados por cada tipo de residuo experimental se registró en un ficha de apuntes para su posterior tabulación y análisis.



Figura 13. Pesado final de residuos experimentales (A y B). Fuente Elaboración propia.

j. Procedimiento de laboratorio para definir la materia biodegradada de los residuos.

Esta etapa se desarrolló en el Laboratorio de Suelos Agrícolas del Proyecto Especial Alto Mayo-PEAM. Así mismo, se aplicó las recomendaciones de Schumacher (2002) y Ruiz *et al.* (2018) el que consistió en esterilizar crisoles a 135 °C por un tiempo de dos horas, luego se dejó enfriar por 15 minutos y seguidamente se agregaron los residuos. De los sustratos experimentales para conocer la materia biodegradada se agregó 5 g de residuo a cada crisol y se llevó a la estufa a 400 °C por un período de cuatro horas. Primero se calcinaron los sustratos testigos (sustratos no sometidos con hongos *Pleurotus*) y luego los biodegradados. Una vez concluido el tiempo, se dejó enfriar por 15 minutos y registró el peso final de la ceniza (Figura 14). Aquellos residuos que tuvieron como característica gruesa se molieron en un molino eléctrico (ver Apéndice 5 y 6).



Figura 14. Proceso para determinar la biodegradación de la materia lignocelulósica a nivel de laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

2.1.3. Tratamientos

En la presente investigación se consideró seis tipos de residuos lignocelulósicos, distribuidos en 14 tratamientos experimentales en proporciones homogéneas y heterogéneas, empleando proporciones al 16,67; 25; 50 y 100 % de sustratos (Tabla 2). Los criterios para abordar los tratamientos fueron la disponibilidad de los residuos, el problema al que estuvieron expuestos (quema y abandono a cielo abierto) y escaso conocimiento a nivel local, regional y nacional sobre la biodegradación mediante hongos *Pleurotus ostreatus* de forma homogénea y en mezclas.

Tabla 3

Tratamientos experimentales constituidos por residuos lignocelulósicos en diferentes proporciones

Tratamientos	Características
1	Cascarilla de arroz 100 %
2	Bagazo de caña 100 %
3	Tuza de maíz 100 %
4	Panca de maíz 100 %
5	Cáscara de piña 100 %
6	Cáscara de coco 100 %
7	Cascarilla de arroz 50 % + bagazo de caña 50 %
8	Cascarilla de arroz 50 % + cáscara de piña 50 %
9	Cascarilla de arroz 50 % + bagazo de caña 25 % + tuza de maíz 25 %
10	Bagazo de caña 50 % +cascarilla de arroz 25 % + panca de maíz 25 %
11	Cáscara de piña 50 % + cáscara de coco 25 % + panca de maíz 25 %
12	Cáscara de coco 50 % + cáscara de piña 25 % + bagazo de caña 25 %
13	Panca de maíz 50 % +cascarilla de arroz 25 % + cáscara de piña 25 %
14	Cascarilla de arroz 16,67 % + bagazo de caña 16,67 % + tuza de maíz 16,67 % + panca de maíz 16,67 % + cáscara de piña 16,67 % + cáscara de coco 16,67 %

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4. Unidades experimentales

En la investigación se consideraron cuatro repeticiones por tratamiento, totalizando 56 unidades experimentales. Cada unidad fue rotulada y se ubicó dentro de un espacio de 0,5 m², con una separación de 50 cm entre unidad y unidad para poder desplazarse y poder realizar observaciones. Cada unidad experimental estuvo constituida por dos kg de sustratos húmedos más 100 g de inóculos hongos *Pleurotus ostreatus*.

2.1.5. Identificación de variables y su mensuración

Tiempo de colonización. Para cuantificar esta variable se tuvo en cuenta las consideraciones descritas por Ruilova *et al.* (2020), el cual registró el primer día que se agregó los inóculos y el último día en que las unidades experimentales fueron colonizadas totalmente con una película blanquecina sobre los residuos. Se estableció el número de días que le llevó esta etapa.

Tiempo de biodegradación. De cada unidad experimental se contabilizó el total de días que duró la biodegradación, es decir, el tiempo total que duro la fructificación. El resultado se expresó en número de días (Nº de días), según lo recomendado por Martínez *et al.* (2008).

Porcentaje de bioconversión. El cálculo de esta variable fue dado por el porcentaje de eficiencia biológica (% EB) y se realizó reemplazando los valores de peso fresco de los hongos sobre el peso del sustrato seco, reemplazando en la siguiente ecuación (Arias *et al.*, 2005):

$$\% Bc = \frac{PFH}{PSS} \times 100$$

De donde:

% Bc: Porcentaje de biodegradación

PFH: Peso fresco de hongo

PSS: Peso seco de hongo

Tasa de biodegradación. Se determinó por la diferencia de pesos entre las cenizas obtenidas producto de la combustión de residuos sin haber sido sometido a biodegradación por hongos *Pleurotus* y aquellos que si fueron sometidos. Para hallar la diferencia de pesos de cenizas y transformarlo a porcentaje se adoptó la fórmula de Zárate (2015).

$$\% B = \frac{PCST - PCSB}{PCST} \times 100$$

Donde:

% B: Porcentaje biodegradación

PCST: Peso de ceniza de sustrato testigo

PCSB: Peso de ceniza de sustrato biodegradado

2.1.6. Diseño estadístico del experimento

El diseño estadístico empleado fue diseño completo al azar (DCA), dado que se analizó el efecto de distintos residuos de manera individual y en proporciones el que permitió determinar si alguno de los tratamientos presento o no un mejor desempeño que otro, además, porque las condiciones fueron controladas.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Tiempo de colonización en días, tiempo de biodegradación en días, porcentaje de bioconversión, tasa de biodegradación en porcentaje, observados con la i – ésima proporción de los diferentes tipos de residuos lignocelulósicos, en la j – ésima repetición.

μ = Media general del tiempo de colonización en días, tiempo de biodegradación en días, porcentaje de bioconversión, tasa de biodegradación en porcentaje.

t_i = Efecto de la i – ésima proporción de los diferentes tipos de residuos lignocelulósicos

e_{ij} = Efecto del error experimental en la i – ésima proporción de los diferentes tipos de residuos lignocelulósicos, en la j – ésima repetición.

2.1.7. Análisis estadísticos de datos

El análisis estadístico a fin de determinar el efecto de los tratamientos en las respuestas experimentales sobre efecto biodegradador y variables de estudio de residuos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus* se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) al 5 % de confianza por medio del programa estadístico Infostat ver. 3.2.1 (Tabla 3). La comparación de medias estadísticas entre tratamientos se realizó a través de la prueba de Tukey al 5 % de nivel de significancia. Además, se utilizó el programa Excel ver. 2016 para tabular los datos, valorar la desviación estándar y promedios.

Tabla 4*Análisis de Varianza del diseño estadístico*

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calculado
Tratamientos	14-1=13	SC de trat.	SC / GL	CM / CM error
Error experimental	(14-1) (4-1)=42	SC de error	SC error / GL error	
Total	(14*4)-1=55	SC total		

Fuente: Elaboración propia.**2.7.8. Materiales**

Para la ejecución del proyecto se emplearon materiales propios, asimismo, del laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad Católica Sedes Sapientiae Filial Rioja: Nueva Cajamarca y del Proyecto Especial Alto Mayo Nueva Cajamarca, los que se detallan en Tabla 4.

Tabla 5*Materiales empleados en la ejecución experimental de la investigación*

N°	Materiales	Unidad	Cantidad/volumen
1	Residuos lignocelulosos	kg	150
2	Sacos tipo malla	Unidad	10 x 50 kg
3	Balanza	Unidad	1 x 30 kg
4	Plástico	Metro	1x10 m
5	Inóculos primarios	kg	1
6	Autoclave	Unidad	1 x 10 l
7	Pupinel	Unidad	1 x 10 l
8	Balanza gramera	Unidad	1 x 0,05 g-1 kg
9	Matraz de Erlenmeyer	Unidad	6 x 1 l c/u
10	Molino eléctrico	Unidad	1
11	Horno eléctrico	Unidad	1
12	Crises	Unidad	5 x 20 g

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Tiempo de colonización

En el Apéndice 7, se observan los resultados obtenidos con respecto al tiempo promedio de colonización micelial por hongos *Pleurotus ostreatus* en los residuos lignocelulósicos experimentales. Estos resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) al 0,05 %, cuyo resultado obtenido, probaron que el p-valor fue menor a 0,05. Por lo tanto, los valores obtenidos indicaron que existen diferencias entre tratamientos experimentales (Tabla 4).

Tabla 6

Análisis de varianza para los tiempos promedios de colonización

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamientos	65,23	13	5,02	9,69	<0,0001
Error	21,75	42	0,52		
Total	86,98	55			

Fuente: Elaboración propia en el programa estadístico Infostat ver. 3.2.1.

A fin de verificar que los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza son reales, se realizó las pruebas de normalidad y homocedasticidad. Para el análisis de normalidad se utilizó la inferencia basada en una muestra mediante la prueba de Kolmogórov Smirnov el cual fue analizado los valores cuantitativos de los residuos de tiempo de colonización, cuyo resultado fue de un p valor = 0,0741 (Tabla 7). El resultado obtenido indicó que los residuos de la variable tiempo de colonización micelial se distribuyen normalmente, dado que p valor > 0,05. Así mismo, en la Figura 15 se puede observar que se cumple el supuesto de normalidad, debido que la mayoría de puntos están sobre la línea recta. Para definir el supuesto de homogeneidad, se aplicó la prueba de varianzas constantes mediante la prueba

de Levene, cuyos valores para el análisis fueron los residuos absolutos del tiempo de colonización. El resultado obtenido fue de un p valor = 0,625, este valor obtenido (p valor > 0,05) se comprobó que los valores analizados cumplen los supuestos de varianza (Tabla 8 y Figura 16).

Tabla 7

Análisis de prueba de normalidad mediante Kolmogórov Smirnov

Variable	Ajuste	media	varianza	n	Estadístico D	p-valor
RDUO Tiempo de colonización	Normal(0,1)	0,00	0,40	56	0,17	0,0741

Fuente: Elaboración propia en el programa estadístico Infostat ver. 3.2.1.

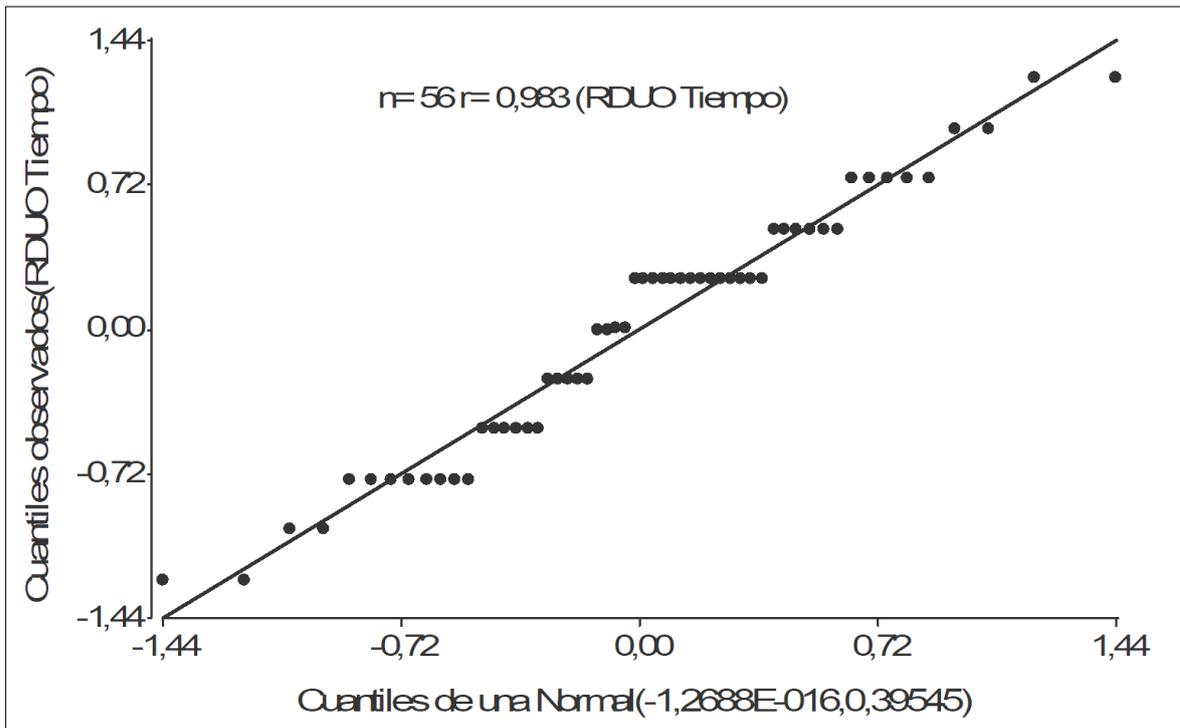


Figura 15. Gráfica de normalidad Q-Q plot en base a los residuos de la variable tiempo de colonización de hongos *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Elaboración propia en base al programa estadística Infostat ver. 3.2.1.

Tabla 8

Análisis de supuesto de homogeneidad mediante prueba de varianzas constantes entre residuos absolutos de tiempo de colonización (Prueba de Levene)

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamientos	1,272	13	0,098	0,833	0,625
Error	4,938	42	0,118		
Total	6,210	55			

Fuente: Elaboración propia en el programa estadístico Infostat ver. 3.2.1.

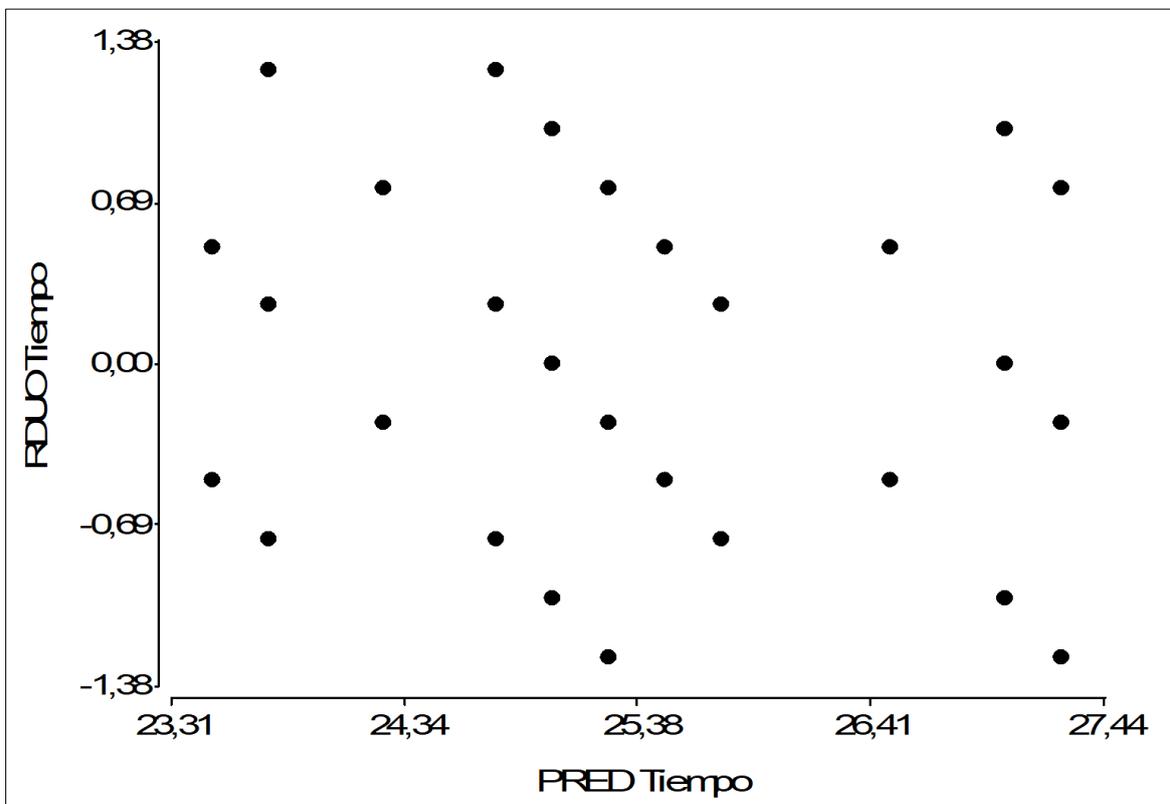


Figura 16. Gráfica de homocedasticidad en base a los residuos sobre los predichos de la variable tiempo de colonización de hongos *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Elaboración propia en base al programa estadística Infostat ver. 3.2.1.

De los tratamientos experimentales, al realizar la comparación de media con la prueba de Tukey se determinó que existen diferencias entre tratamientos que no difieren significativamente entre sí. El tratamiento T11 y T4 tuvieron el menor tiempo de colonización (Tabla 9 y Figura 17).

Tabla 9

*Comparación de medidas estadísticas entre tratamientos para el porcentaje del tiempo de colonización micelial del hongo *Pleurotus ostreatus**

Simb.	Tratamientos	Medias	Muestra	Error estándar	Comparación de tratamientos						
T11	Cáscara de piña 50 % + cáscara de coco 25 % + panca de maíz 25 %	23,50	4	0,36	a						
T4	Panca de maíz 100 %	23,75	4	0,36	a	b					
T5	Cáscara de piña 100 %	24,25	4	0,36	a	b	c				
T2	Bagazo de caña 100 %	24,75	4	0,36	a	b	c	d			
T13	Panca de maíz 50 % + cascaría de arroz 25 % + cáscara de piña 25 %	24,75	4	0,36	a	b	c	d			
T10	Bagazo de caña 50 % + cascaría de arroz 25 % + panca de maíz 25 %	24,75	4	0,36	a	b	c	d			
T7	Cascaría de arroz 50 % + bagazo de caña 50 %	25,00	4	0,36	a	b	c	d			
T8	Cascaría de arroz 50 % + cáscara de piña 50 %	25,25	4	0,36	a	b	c	d	e		
T12	Cáscara de coco 50 % + cáscara de pina 25 % + bagazo de caña 25 %	25,50	4	0,36		b	c	d	e	f	
T6	Cáscara de coco 100 %	25,75	4	0,36			c	d	e	f	
T14	Cascarilla de arroz 16,67 % + bagazo de caña 16,67 % + tuza de maíz 16,67 % + panza de maíz 16,67 % + cascara de piña 16,67 % + cascara de coco 16,67 %	25,75	4	0,36			c	d	e	f	
T9	Cascarilla de arroz 50 % + bagazo de caña 25 % + tuza de maíz 25 %	26,50	4	0,36					d	e	f
T3	Tuza de maíz 100 %	27,00	4	0,36						e	f
T1	Cascarilla de arroz 100 %	27,25	4	0,36							f

Fuente: Elaboración propia en base al programa estadístico Infostat.

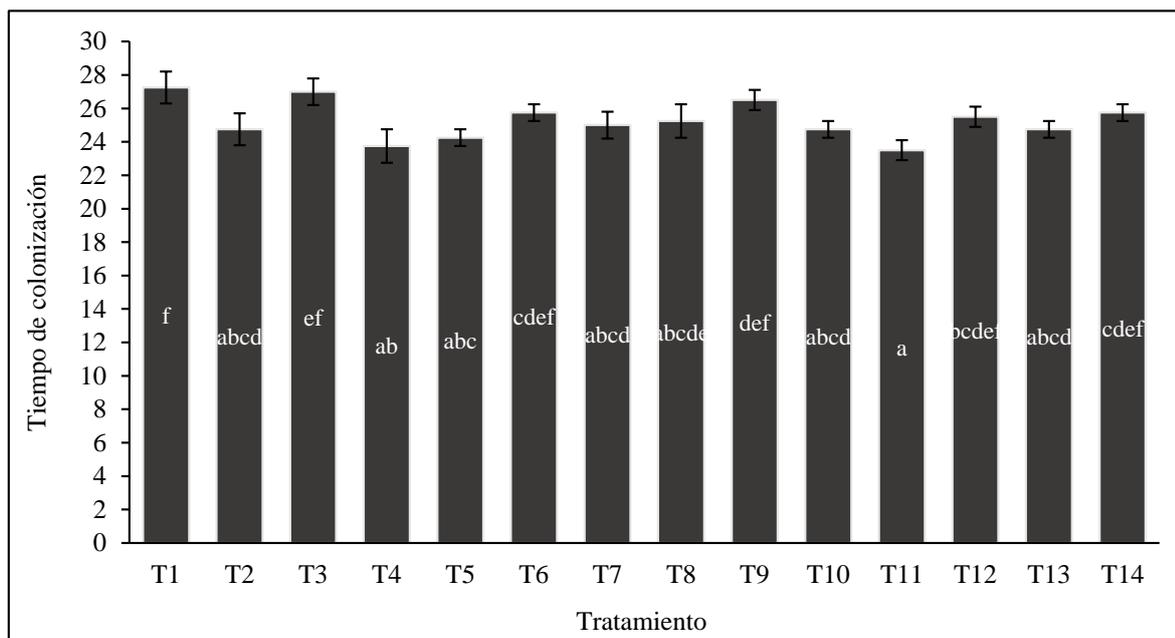


Figura 17. Tiempo de colonización micelial por hongos *Pleurotus ostreatus* en residuos lignocelulósicos según tratamientos experimentales. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Tiempo de biodegradación

En el Apéndice 8, se pueden apreciar los resultados del tiempo promedio de biodegradación de los residuos lignocelulósicos experimentales. Estos resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) al 5 %, cuyo resultado obtenido, probaron que el p-valor calculado fue menor al p valor planteado ($p\text{-valor } 0,0001 < p\text{-valor } 0,05$). Por lo tanto, los valores obtenidos indicaron que existen diferencias entre tratamientos experimentales (Tabla 6).

Tabla 10

Análisis de varianza para tiempo de biodegradación de los residuos sólidos lignocelulósicos experimentales

Factor de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamientos	1628,23	13	125,25	165,68	<0,0001
Error	31,75	42	0,76		
Total	1659,98	55			

Fuente: elaboración propia programa estadístico Infostat ver. 3.2.1

Para validar el resultado del ANOVA si son reales, se realizó las pruebas de normalidad y homocedasticidad. Al realizar la comprobación de normalidad mediante la prueba de Kolmogórov Smirnov, se obtuvo un p-valor = 0,473 (Tabla 11), este resultado obtenido es mayor a p-valor 0,05; lo que demostró que los residuos de la variable tiempo promedio contabilizados desde el inicio hasta la ausencia de producción de hongos se distribuyeron normalmente, por lo tanto, se cumple el supuesto de normalidad, debido que la mayoría de puntos están sobre la línea recta (Figura 18). Así mismo, para validar la prueba de normalidad se realizó el análisis de supuesto de homogeneidad, el que consistió en aplicar la prueba de Levene cuyo valor obtenido fue de un p-valor = 0,114 (Tabla 12), este resultado obtenido fue mayor al p-valor 0,05. Evidenciándose que los valores analizados cumplen los supuestos de varianza (Figura 19).

Tabla 11.

Análisis de normalidad mediante prueba de inferencia de una muestra de Kolmogórov Smirnov

Variable	Ajuste	media	varianza	n	Estadístico D	p-valor
RDUO Tiempo de biodegradación	Normal (0,1)	0,00	0,58	56	0,11	0,4733

Fuente: elaboración propia programa estadístico Infostat ver. 3.2.1

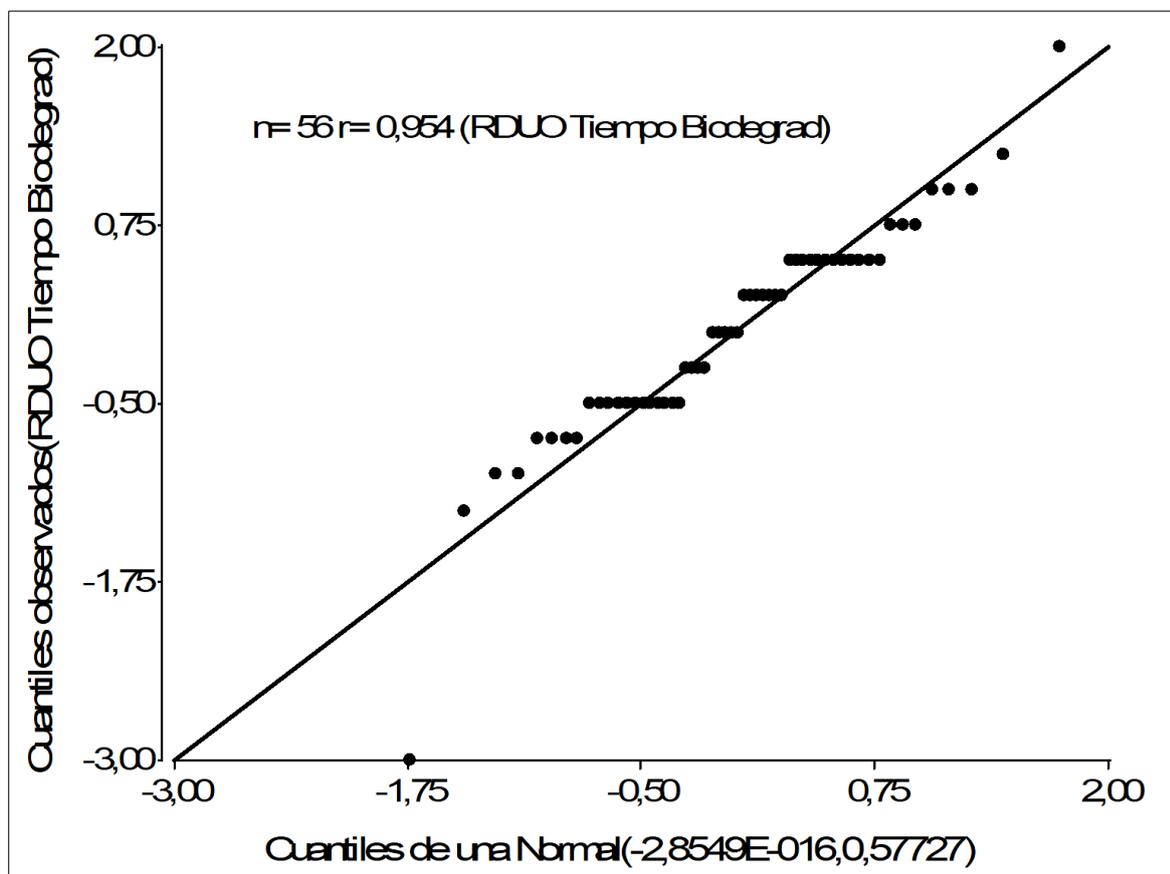


Figura 18. Gráfica de probabilidad de normalidad Q-Q plot en base a los residuos de la variable tiempo de biodegradación de residuos lignocelulósicos por efecto de los hongos *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Elaboración propia en base al programa estadística Infostat ver. 3.2.1.

Tabla 12

Análisis de varianza de homocedasticidad de los valores de residuos absolutos de tiempo de biodegradación mediante prueba de Levene

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamiento	4,33	13	0,33	1,63	0,1144
Error	8,56	42	0,20		
Total	12,89	55			

Fuente: elaboración propia programa estadístico Infostat ver. 3.2.1

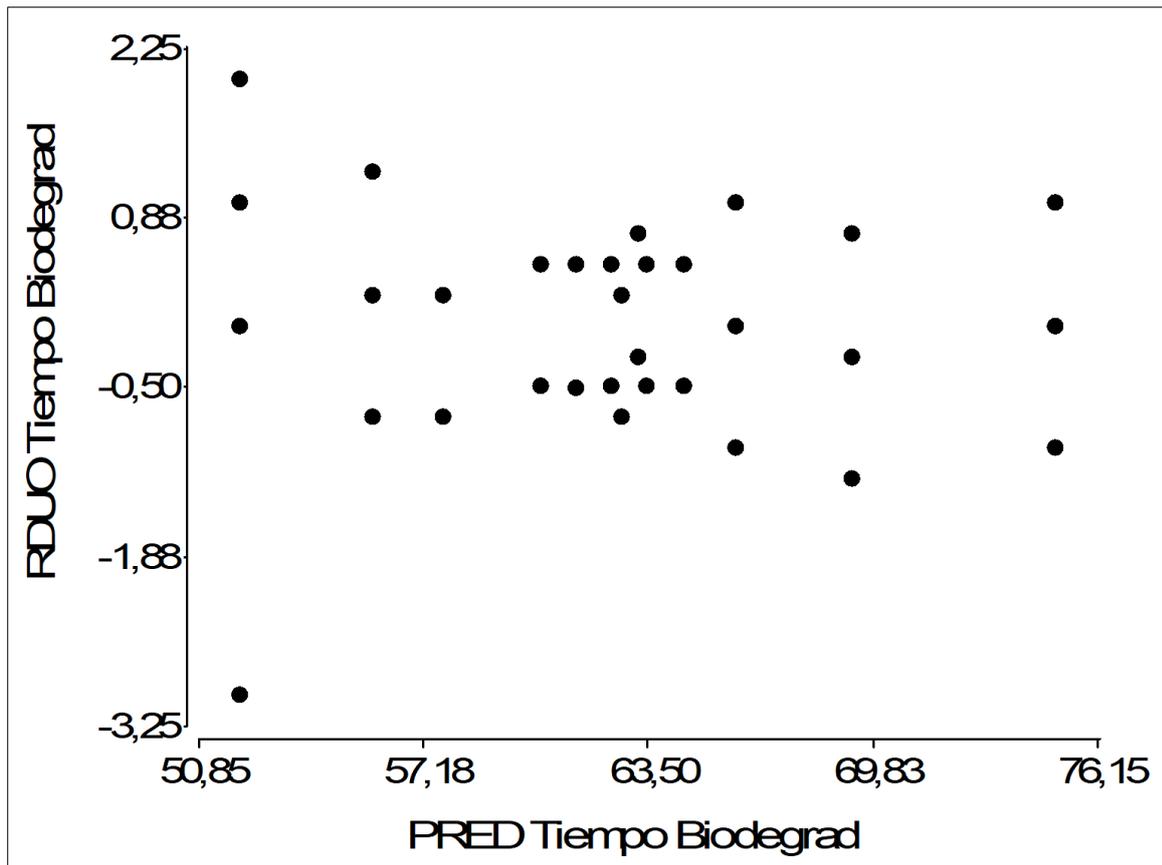


Figura 19. Gráfica de homocedasticidad en base a los residuos y predichos de la variable tiempo de biodegradación de residuos lignocelulósicos por efecto de los hongos *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Elaboración propia en base al programa estadística Infostat ver. 3.2.1.

De los tratamientos experimentales, al realizar la comparación de media con la prueba de Tukey se determinó que existen diferencias entre tratamientos que no difieren significativamente entre sí. El tratamiento T1 y T6 alcanzaron el menor tiempo con 52,0 y 55,7 días, en tanto los tratamientos que demandaron de mayor tiempo en la biodegradación fueron los tratamientos T2 a base de residuos de caña de azúcar con 69,2 días y el T3 con residuos de tuza de maíz con un tiempo de 75,0 días. Mientras que el resto de tratamientos oscilan entre 57,5 y 66,00 días (Tabla 13, Figura 20).

Tabla 13

*Comparación de medias estadísticas entre tratamientos mediante prueba de Tukey al 5 % para tiempo de biodegradación de residuos lignocelulósicos por acción de los hongos *Pleurotus ostreatus**

Simb.	Tratamientos	Medias	Muestra	Error estándar	Comparación de tratamientos			
T1	Cascarilla de arroz 100 %	52,0	4	0,43	a			
T6	Cáscara de coco 100 %	55,8	4	0,43	b			
T8	Cascaría de arroz 50 % + cáscara de piña 50 %	57,8	4	0,43	b			
T12	Cáscara de coco 50 % + cáscara de pina 25 % + bagazo de caña 25 %	60,5	4	0,43	c			
T7	Cascaría de arroz 50 % + bagazo de caña 50 %	60,5	4	0,43	c			
T9	Cascarilla de arroz 50 % + bagazo de caña 25 % + tuza de maíz 25 %	61,5	4	0,43	c	d		
T13	Panca de maíz 50 % + cascaría de arroz 25 % + cáscara de piña 25 %	62,5	4	0,43	c	d	e	
T11	Cáscara de piña 50 % + cáscara de coco 25 % + panca de maíz 25 %	62,8	4	0,43		d	e	
T14	Cascarilla de arroz 16,67 % + bagazo de caña 16,67 % + tuza de maíz 16,67 % + panza de maíz 16,67 % + cascara de piña 16,67 % + cascara de coco 16,67 %	63,3	4	0,43		d	e	
T10	Bagazo de caña 50 % + cascaría de arroz 25 % + panca de maíz 25 %	63,5	4	0,43		d	e	
T5	Cáscara de piña 100 %	64,5	4	0,43			e	f
T4	Panca de maíz 100 %	66,0	4	0,43				f
T2	Bagazo de caña 100 %	69,3	4	0,43				g
T3	Tuza de maíz 100 %	75,0	4	0,43				h

Fuente: Elaboración propia en base al programa estadístico Infostat ver. 3.2.1.

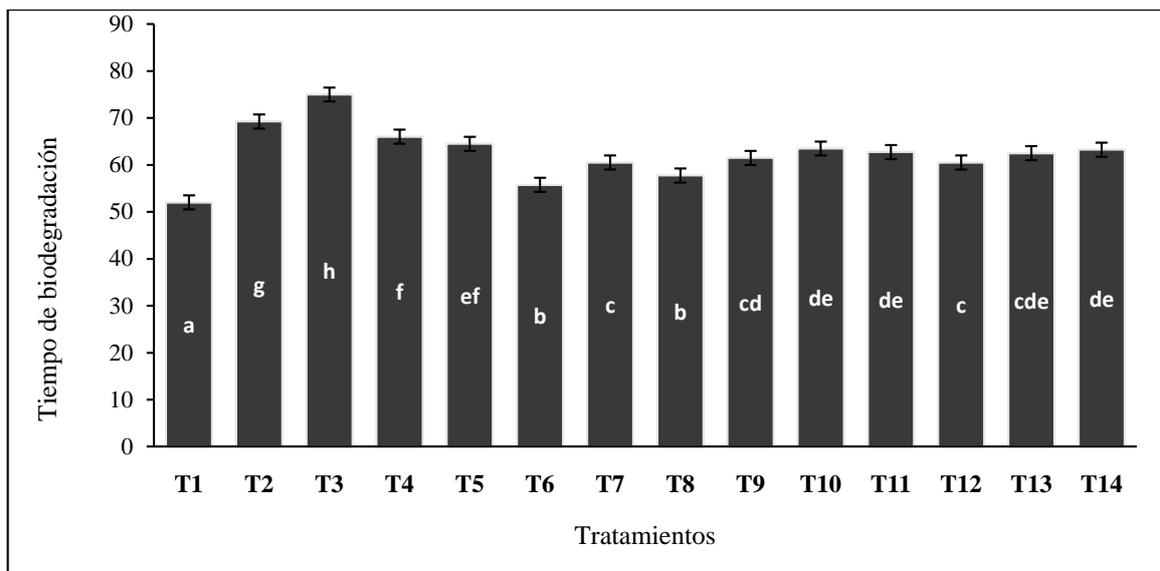


Figura 20. Gráfico muestra la distribución entre grupos y su relación entre tratamientos. Fuente: Elaboración propia en base a programa Infostat ver. 3.2.1.

3.3. Porcentaje de bioconversión

Los resultados de porcentaje de bioconversión de residuos lignocelulósicos por acción de los hongos *Pleurotus ostreatus* se pueden observar en el Apéndice 9. De los cuales al realizar el análisis de varianza se dedujo que los resultados alcanzados por los 14 tratamientos son diferentes, debido que el p-valor calculado es menor al p-valor propuesto ($p\text{-valor } 0,0001 < p\text{-valor } 0,05$) (Tabla 14).

Tabla 14

Análisis de varianza para los resultados de porcentajes de bioconversión alcanzados durante el proceso experimental

Factor de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamiento	21259,02	13	1635,31	3746,00	<0,0001
Error	18,34	42	0,44		
Total	21277,36	55			

Fuente: Elaboración propia en base a Infostat ver. 3.2.1

Para conocer si el ANOVA realizado a la variable porcentaje de bioconversión son válidos se realizó el análisis de los supuestos de normalidad y homogeneidad. Para determinar la probabilidad de normalidad se efectuó la prueba de Kolmogórov Smirnov con los residuos

de porcentaje de bioconversión, cuyo resultado fue de un p valor = 0,967, indicando que los resultados alcanzados se encuentran sobre una recta normal (Figura 21).

Tabla 15

Estimación de normalidad mediante análisis de los residuos de porcentaje de bioconversión

Variable	Ajuste	media	varianza	n	Estadístico D	p-valor
RDUO Porcentaje de bioconversión	Normal(0,1)	0,00	0,33	56	0,07	0,967

Fuente: Elaboración propia en base a Infostat ver. 3.2.1

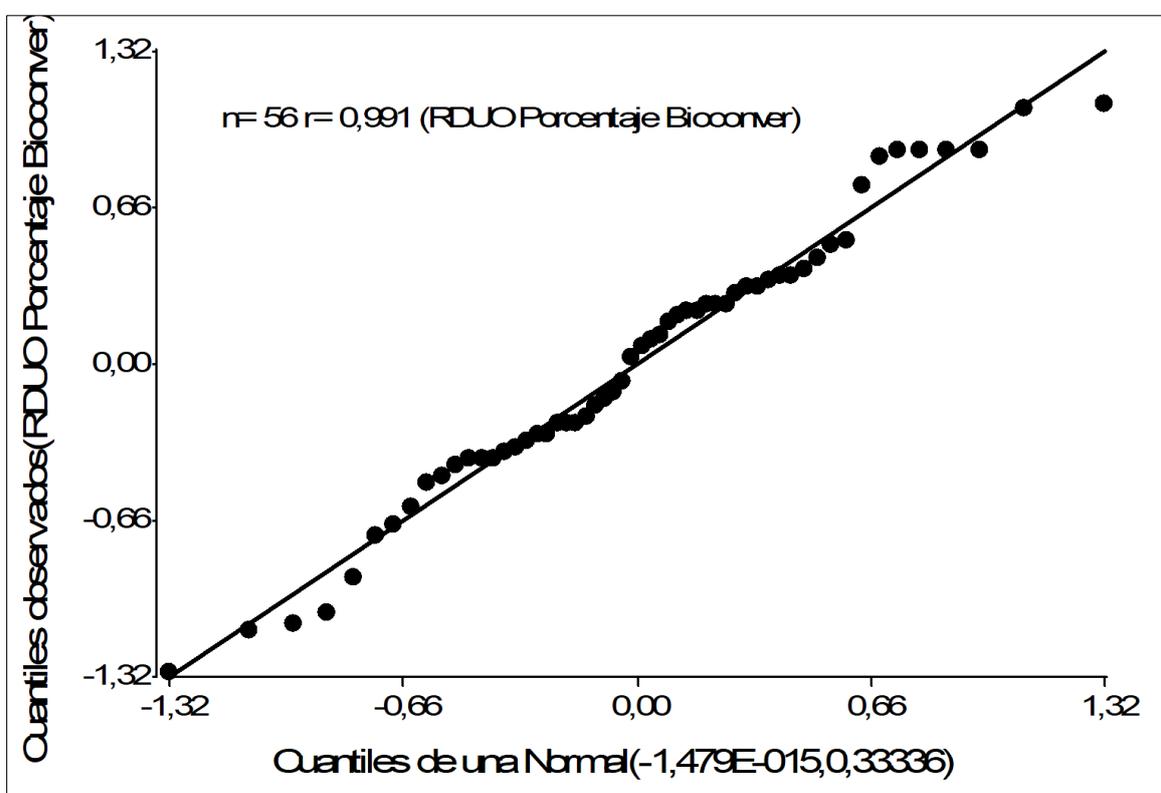


Figura 21. Gráfico de pruebas de normalidad Q-Q plot alcanzadas para los porcentajes de bioconversión realizado por los hongos *Pleurotus ostreatus* mediante la comparación de residuos y predichos. Fuente: Elaboración propia en base a Infostat ver. 3.2.1.

Mediante la prueba formal de Levene se realizó el análisis de varianza de los residuos absolutos para establecer si los valores logrados fueron homogéneos. El valor conseguido fue de un p valor = 0,0602 dando a conocer que los valores alcanzados son homocedásticos, por lo tanto, los resultados alcanzados mediante el análisis de varianza son válidos (Tabla 16 y Figura 22).

Tabla 16

Análisis de varianza de los residuos absolutos de porcentaje de bioconversión mediante prueba de Levene

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamiento	21,552	13	0,1658	18,886	0,0602
Error	36,869	42	0,0878		
Total	58,421	55			

Fuente: Elaboración propia en base a Infostat ver. 3.2.1

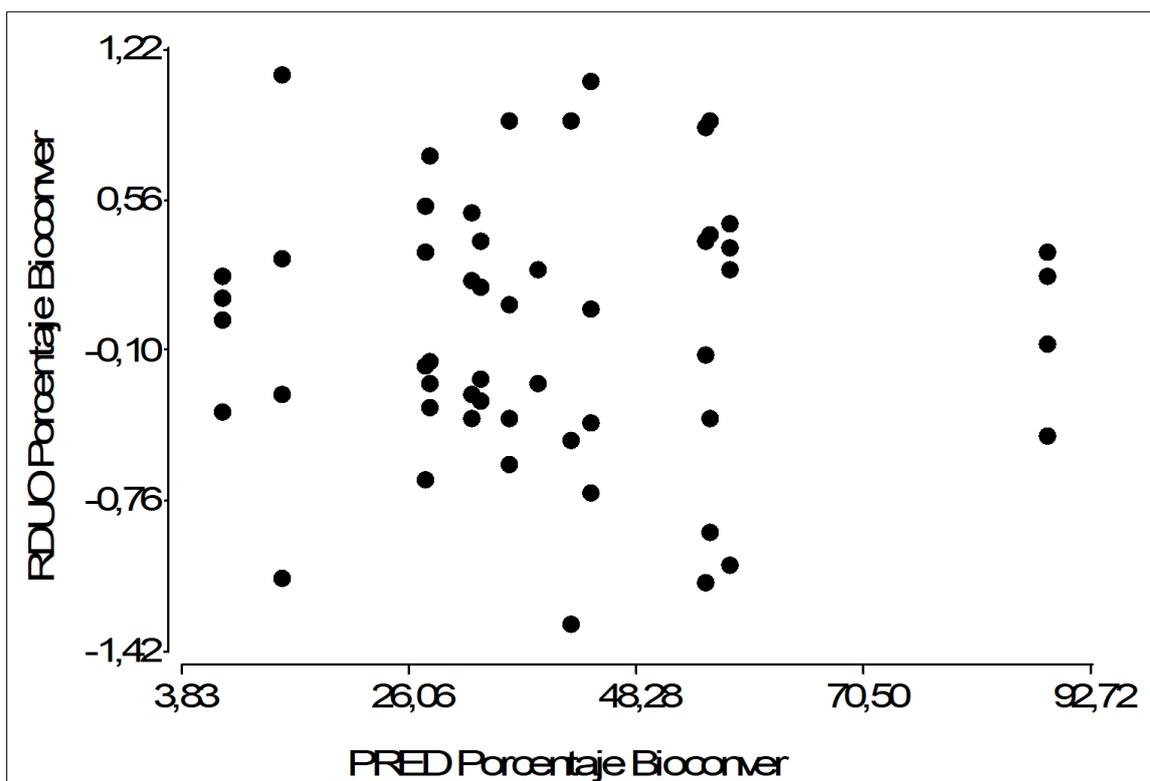


Figura 22. Gráfico de pruebas de homogeneidad en base a los residuos sobre los predichos de la variable porcentajes de bioconversión realizado por los hongos *Pleurotus ostreatus* mediante la comparación de residuos y predichos. Fuente: Elaboración propia en base a Infostat ver. 3.2.1.

En la Tabla 17, se muestran los resultados promedios de los porcentajes de bioconversión obtenidos por tratamientos mediante la prueba de Tukey, del cual se puede atribuir que existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), debido, que no comparten la misma letra en común. De los cuales se puede deducir que los menores promedios con respecto a los porcentajes de bioconversión por tratamiento los obtuvieron el T1 y T3 con 7,9 y 13,7 % y el tratamiento con mayor bioconversión fue para el tratamiento T4 con 88,7 % seguido por el T11, T2, T14 con valores que fluctuaron desde los 55,1 a 57,6 %. En la Figura 23, se puede apreciar que los tratamientos T2, T4, T11 y T14 alcanzaron los mejores procesos de bioconversión por intervención de los hongos *Pleurotus ostreatus* en los residuos lignocelulósicos experimentales.

Tabla 17

Comparación de medias estadísticas por tratamientos mediante la prueba de Tukey para los porcentajes de bioconversión

Simb.	Tratamientos	Medias	n	Error estandar	Comparación de tratamientos
T1	Cascarilla de arroz 100 %	7,9	4	0,33	a
T3	Tuza de maíz 100 %	13,7	4	0,33	b
T8	Cascaría de arroz 50 % + cáscara de piña 50 %	27,7	4	0,33	c
T9	Cascarilla de arroz 50 % + bagazo de caña 25 % + tuza de maíz 25 %	28,2	4	0,33	c
T6	Cáscara de coco 100 %	32,3	4	0,33	d
T7	Cascaría de arroz 50 % + bagazo de caña 50 %	33,2	4	0,33	d
T13	Panca de maíz 50 % + cascaría de arroz 25 % + cáscara de piña 25 %	35,9	4	0,33	e
T10	Bagazo de caña 50 % + cáscara de arroz 25 % + panca de maíz 25 %	38,9	4	0,33	f
T5	Cáscara de piña 100 %	42,0	4	0,33	g
T12	Cáscara de coco 50 % + cáscara de pina 25 % + bagazo de caña 25 %	43,9	4	0,33	h
T11	Cáscara de piña 50 % + cáscara de coco 25 % + panca de maíz 25 %	55,1	4	0,33	i
T2	Bagazo de caña 100 %	55,7	4	0,33	i
T14	Cascarilla de arroz 16,67 % + bagazo de caña 16,67 % + tuza de maíz 16,67 % + panca de maíz 16,67 % + cáscara de piña 16,67 % + cáscara de coco 16,67 %	57,7	4	0,33	j
T4	Panca de maíz 100 %	88,7	4	0,33	h

Fuente: Elaboración propia en base a Infostat ver. 3.2.1.

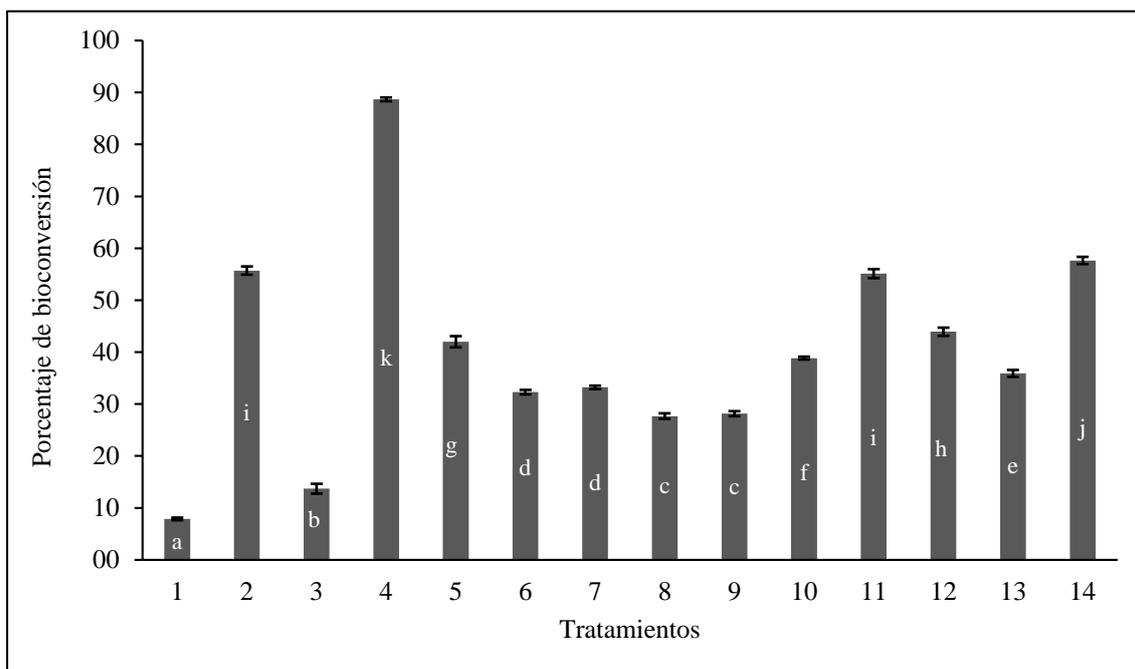


Figura 23. Distribución por tratamientos de los valores alcanzados para porcentaje de bioconversión. Fuente: Elaboración propia en base a Infostat ver. 3.2.1.

3.4. Biodegradación de residuos lignocelulósicos

Los resultados de composición porcentual inicial de los residuos lignocelulósicos experimentales se describen en la Apéndice 10, igualmente, los porcentajes de biodegradación. Para este procedimiento se cogió 5 g de materia lignocelulósicos por tratamiento sin haber sido sometido a hongos *Pleurotus ostreatus* que fueron calcinados en estufa a 400 °C, cuyo peso final de la ceniza nos permitió hacer el cálculo porcentual. El mismo procedimiento se empleó a los residuos agrupados en tratamientos, que fueron inoculados con hongos *Pleurotus ostreatus*, la diferencia entre los pesos inicial y final de ceniza proyectaron los intervalos de biodegradación.

En la Figura 24, se muestran los resultados de los sustratos sometidos a calcinación, tanto de los sustratos que no fueron sometidos a acción por los hongos *Pleurotus* y de aquellos que fueron sometidos. De los cuales, se logró constatar que los hongos aplicados a los residuos experimentales para biodegradar la biomasa lignocelulósica poseen efectos descomponedores en diferentes intervalos y que este efecto es de acuerdo a las propiedades que poseen cada tipo de sustrato. Los tratamientos en que hubo mayor

biodegradación fue el T2, T4, T11, T12 y T14 con 3,9:2,3; 4,1:2,1; 3,6:2,6; 3,5:2,6 y 3,6:2,1 g; mientras que del resto de tratamientos fue en menor proporción el efecto biodegradativo por los hongos *Pleurotus ostreatus*.

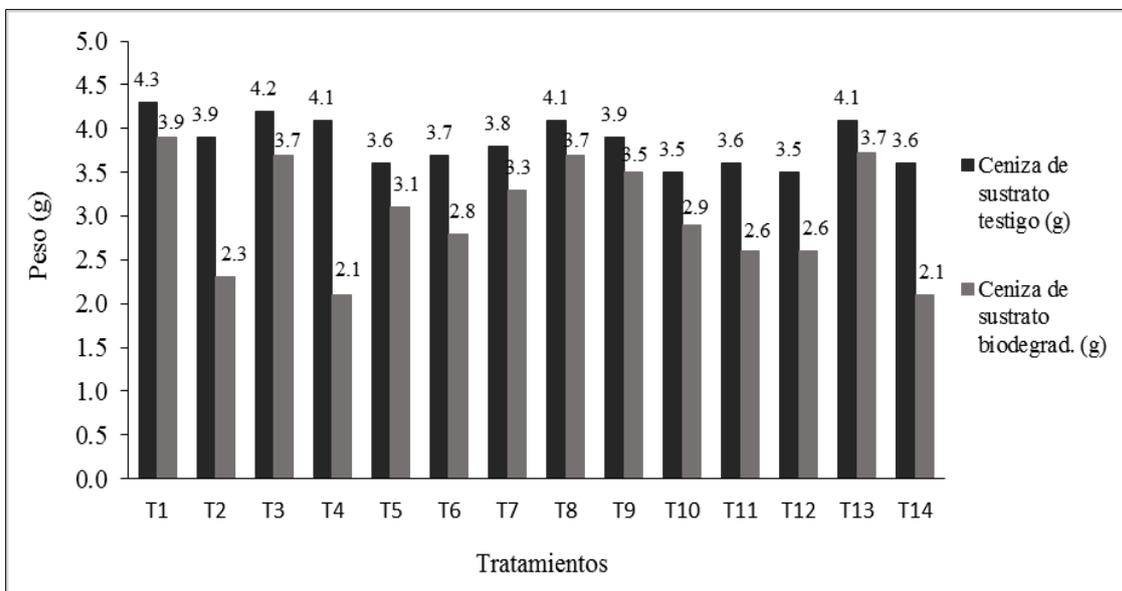


Figura 24. Intervalo de disminución de masa en ceniza de los residuos lignocelulósicos sometidos y no sometidos a biodegradación con hongos *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Elaboración propia

La diferencia de masas de cenizas de cada tratamiento obtenido mediante la calcinación y elevados a porcentaje, indican la acción de los hongos *Pleurotus ostreatus*, de los cuales los tratamientos que tuvieron un menor porcentaje de biodegradación fueron el T1, T3, T5, T7, T8, T9, T10 y T13 cuyos valores oscilaron desde 9,0 a 17,1 %. En tanto, los tratamientos con acción de biodegradación intermedia T6, T11 y T12 con valores que oscilaron de 24,3 a 27,8 %. Mientras que los mejores intervalos de biodegradación mostraron los tratamientos T2, T4 y T14 donde los resultados fluctuaron desde los 41,0 a 48,8 % siendo más significativo el T4 (Figura 25).

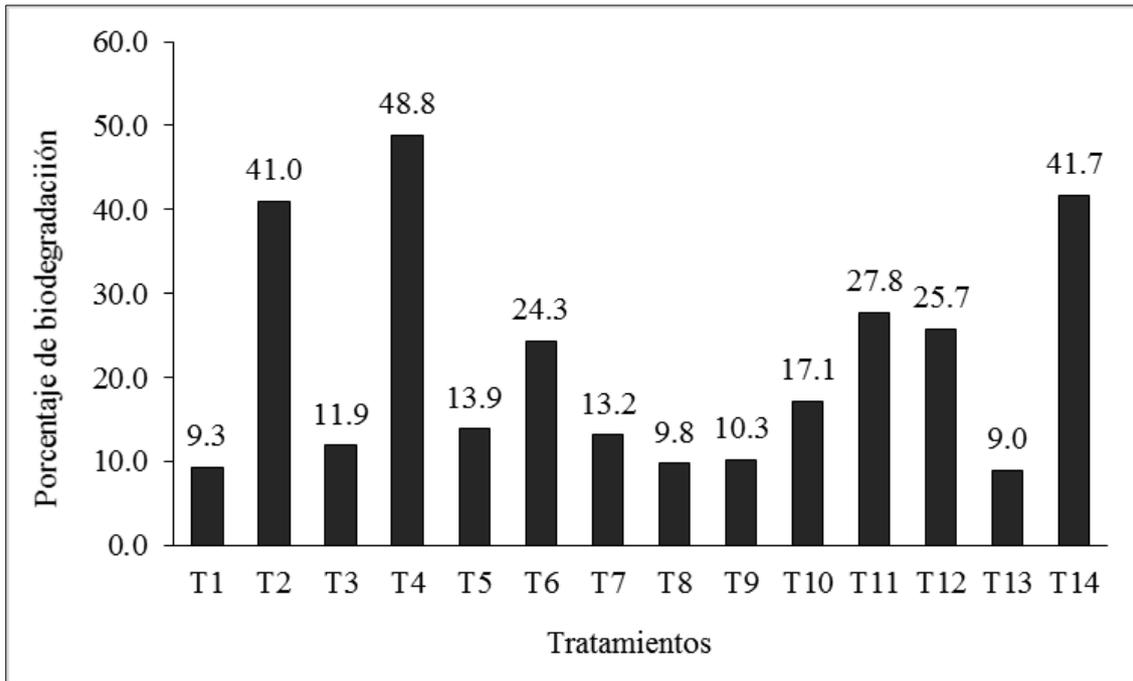


Figura 25. Porcentaje de biodegradación por tratamiento de los residuos lignocelulósicos sometidos a hongos *Pleurotus ostreatus*. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Tiempo de colonización de residuos linocelulosos por hongos *Pleurotus ostreatus*

Los resultados alcanzados sobre el tiempo de colonización por hongos *Pleurotus ostreatus* en los 14 tratamientos hubo diferencias significativas, debido que el p-valor fue < 0.0001 . Dando a conocer que el tiempo de colonización va suceder de acuerdo al tipo de sustrato. Tal es el caso, que en los tratamientos donde incorporó cascarilla de arroz (T1, T7, T8, T9, T10 y T13) fueron de 27,3; 25,0; 25,3; 26,5 y 24,8 días respectivamente. No obstante, los tratamientos T1, T7, T8 y T9 oscilaron con resultados cercanos, sin embargo, estos fueron incompletos en su colonización. Los valores son distantes a los reportado por Liñán (2014) a quien le demandó de 19 días para empezar el crecimiento de los hongos *Pleurotus*, sin embargo, menciona que los micelios en cascarilla de arroz no crecieron de forma uniforme por lo que hubo una invasión micelial incompleta; por ende, se vieron afectados los procesos de bioconversión. Similar resultado fue reportado por Ruiz *et al.* (2018) donde los residuos de cascarilla de arroz solo colonizaron el 10 % del sustrato e incluso en algunas repeticiones no hubo colonización micelial en un tiempo de 20 días. El tiempo prolongado y la colonización incompleta en residuos de pajilla de arroz están relacionado con la incapacidad de este sustrato para retener humedad, esencial para el desarrollo del hongo (Agamez *et al.*, 2008). Así mismo, se debería a que la cascarilla de arroz posee en su composición química más contenido de sílice que es difícilmente biodegradable (Puig *et al.*, 2020).

En los tratamientos que incorporaron sustratos a base de bagazo de caña de azúcar (T2, T7, T9, T10 y T12) los días fueron de 24,8; 25,0; 26,5; 24,8 y 25,5; observándose que no fueron distantes entre tratamientos. Aún combinándose con residuos de cascarilla de arroz, tuza de maíz, cáscara de coco y piña no mostraron diferencias significativas entre los días de colonización. Los resultados alcanzados son menores a lo reportado por Figueroa y Lozada (2015), quienes obtuvieron que para sustratos a base de bagazo de caña, aserrín y tuza de

maíz una colonización al 80,0 % a los 36 días. Igualmente, Garzón y Cuervo (2008), obtuvieron un tiempo de colonización en sustratos de bagazo de caña de azúcar en 36 días y que este tiempo disminuyó a 26 días cuando combinaron con otros residuos como el aserrín, pulpa de café o tallo de maíz. En el caso del bagazo de caña se caracteriza por retener agua al tener una estructura esponjosa afectando la colonización y fructificación del hongo (Vargas *et al.*, 2012). Igualmente, Salamanca (2018) manifiesta que la porosidad del bagazo de caña y su estructura esponjosa limita el desarrollo del micelio, debido que al usar carbonato de calcio para desinfectar estos taponan o se depositan en la superficie del sustrato.

Para residuos de tuza de maíz, evaluados en diferentes tratamientos (T3 y T9) el tiempo de colonización fue de 27,0 y 26,5 días, siendo parte de los tratamientos que más demoraron en colonizar los residuos. Los valores obtenidos se asemejan a los alcanzados por Hernández y López (2006), quienes reportaron un crecimiento de micelio en sustratos de tuza de maíz en 27 días. Muy cercanamente Sosa (2012), reportó una invasión de micelio en el mismo sustrato en un tiempo de 29 días. Mientras que Valera (2019), alcanzó un tiempo de colonización en 20 días. Una invasión micelial completa, no necesariamente refleja que al finalizar el ciclo de efecto de los hongos se revierta en una biodegradación significativa. En efecto, si las condiciones de ganancia de humedad de los sustratos no son los ideales, esto afecta inhibiendo el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*, igualmente, si el sustrato no gana humedad adecuada sucede una intervención del hongo de forma incompleta.

Con respecto a los tratamientos a base de panca de maíz (T4, T10, T11 y T13) el que alcanzó muy buenos resultados de colonización fue el T4 con un tiempo de 23,8 días, mientras que el resto de tratamientos alcanzaron tiempos de 24,8; 23,5 y 24,8 días existiendo diferencia solo de un día y las colonizaciones fueron uniformes. Con respecto al uso de panca de maíz como medio de cultivo de hongos *Pleurotus ostreatus* no hay mucha información, sin embargo, los encontrados atribuyen excelente atributo para colonizar este sustrato en el menor tiempo. Tal es el caso de Gaitán y Silva (2016), reportaron una invasión de micelio en sustrato de panca de maíz en 20 días, mientras que Zárate (2015) alcanzó una colonización en panca de maíz a los 13 días, debido a las condiciones de humedad y temperatura estable presentes en el ambiente donde realizó el estudio. Y también porque los residuos de panca

de maíz poseen mayor contenido de carbohidrato estructural de fácil disponibilidad para el hongo *Pleurotus* (Ríos *et al.*, 2010).

Con respecto al tratamiento T5 a base de cáscara de piña se alcanzó un tiempo de invasión de micelio de 24,3 días. Este resultado se encontró dentro de los rangos teóricos según lo considerado por Barba y López (2017). Además, el resultado logrado no es distante del resto de tratamientos experimentales. Con respecto al uso de residuos de piña como sustrato de cultivo de hongos y cuantificación de degradación de estos residuos por hongos *Pleurotus ostreatus* no hay mucha información para contrastar los resultados, esta afirmación se sustenta en lo indicado por Igenicious y Bahlebi (2017) quienes manifiestan que a pesar de tener los residuos de piña propiedades ricas en celulosa, este sustrato no ha sido muy bien investigado. En los pocos estudios realizados el tiempo de invasión fue de 20 días. De forma similar Sharma *et al.* (2016) atribuyen que los desechos de frutas son ricos en propiedades orgánicas y nutracéuticas por poseer más celulosa, hemicelulosa y bajos en lignina, sin embargo, falta todavía realizar estudios mediante el aprovechamiento de hongos en la obtención de enzimas y otros.

En residuos a base de cáscara de coco al 100 % se obtuvo un tiempo de colonización de micelio en 25,8 días (T6), mientras que al combinarlos con otros residuos como cáscara de piña y panca de maíz se redujo a 23,5 (T11); sin embargo, al incrementar los residuos de cáscara de coco el tiempo e invasión de micelio se extendió a 25,5 días (T12). Por lo que se podría atribuir que el tiempo de colonización alcanzado en el tratamiento T11 es cercano al obtenido por Donado (2014), quien reportó 21 días de invasión de micelio en fibra de coco; igualmente González *et al.* (1993) reportó 22 días en sustratos de cascará de coco. En tanto, para el resto de tratamiento son distantes y esto se debería a que los residuos de coco poseen una fibra que no captaba mucha humedad, este punto de vista tendría relación con lo señalado por Cayetano *et al.* (2007) quienes afirmaron que la poca retención de agua en el residuo de fibra de coco influye en la invasión de micelio y fructificación del hongo *Pleurotus ostreatus*.

4.2. Tiempo de biodegradación de residuos lignocelulosas por hongos *Pleurotus ostretus*

El tiempo de biodegradación de los residuos lignocelulósicos por efecto de los hongos *Pleurotus ostreatus*, alcanzados en los tratamientos experimentales mostraron diferencias significativas. Los tiempos de los 14 tratamientos fluctuaron entre los 52 a 75 días. Al comparar los resultados obtenidos con los de Cruz *et al.* (2020); quienes experimentaron en cáscara de arroz y piña estos alcanzaron valores de 79 y 88 días, siendo mayor el tiempo a nuestros resultados. Según Marín *et al.* (2013), en los residuos de piña; la cáscara está constituidos de lignina, celulosa y hemicelulosa favorable para el cultivo de hongos *Pleurotus* pero que tarda un poco para romper los enlaces. El tiempo de biodegradación del complejo lignoceluloso tiene que ver directamente con la degradación selectiva que efectúan los hongos *Pleurotus ostreatus*, mientras suceda una buena fermentación sólida de los residuos es mejor la biodegradación por los hongos (Hadar *et al.*, 1992). Otro variable que tiene relación directa con el tiempo que lleva la biodegradación es el potencial de enzimas linocelulolíticas e hidrolíticas que emite el hongo *Pleurotus ostreatus* (Adebayo y Martínez, 2015). Mientras que para Michael *et al.* (2011) los sustratos influyen directamente en su biodegradación, debido a su composición química que poseen. Por lo que es esencial conocer la composición química de los sustratos antes de iniciar un cultivo de hongos *Pleurotus ostreatus*, de lo contrario se verán afectados el crecimiento de micelio y formación del hongo degradador. Para Bellettini *et al.* (2019) los factores que intervienen afectando el desarrollo del hongo y es necesario conocerlo; son la cantidad de nitrógeno presente en el sustrato, relación C/N de los sustratos empleados, el pH y la humedad. Es sin duda que la riqueza de enzimas lignocelulíticas que poseen los hongos *Pleurotus ostrestus* las que actúan biodegradando en el tiempo la gama de moléculas complejas que poseen las maderas o vegetales (Rhodes, 2015).

Igualmente, Gaitán y Silva (2016) reportaron un tiempo de acción degradativa de 60 días en residuos de panca de maíz, cuyo resultado no es distante al alcanzado con 66 días. En tanto, Zárate (2015) atribuye que la panca de maíz es un excelente sustrato que es muy bien aprovechado por los hongos *Pleurotus ostreatus* durante el tiempo que dura la producción. A diferencia del bagazo de caña que alcanzó entre 90 y 100 días y su bioconversión es más bajo que la panca de maíz (Monterroso, 2009). Con respecto a la cáscara de coco se tuvo una diferencia significativa con lo reportado por Donado (2014) quien alcanzó un tiempo de 132

días frente a 55,8 días logrado en el experimento, esto tendría una relación directa con la colonización y bioconversión del sustrato debido que muchas veces es incompleta. El tiempo de biodegradación no necesariamente tiene que ver con una relación directa en la disminución significativa de biomasa lignocelulósicos. Dado que el hongo *Pleurotus ostreatus* puede degradar lentamente pero que a su vez este puede verse afectado en su crecimiento y desarrollo y a falta de condiciones por la exigencia del sustrato termina inactivándose o pereciendo dando por finalizado la biodegradación como concluyen Córdoba y Cultid (2015). En la parte experimental los tratamientos T4 tuvieron excelentes resultados con el tiempo de colonización y el tiempo de biodegradación, esto se debería a la riqueza nutritiva del sustrato que se manifiesta en los tamaños de formación de hongo y el número de oleadas de cosecha pudiendo acortar o alargar el tiempo de biodegradación mejorando el crecimiento vegetativo del hongo (Naraian *et al.*, 2009). Lo mismo atribuyen De Carvalho *et al.* (2012) y Bernardi *et al.* (2013) que la composición química del sustrato, estructura y tamaño influyen en el desempeño del hongo. La variabilidad entre los tiempos de biodegradación de los sustratos tiene relación con el tamaño de los sustratos, por ejemplo, los residuos de tusa de maíz, cascara de coco, bagazo de caña dulce y cascara de piña se cortaron en tamaños 2 a 3 cm diferenciándose de la panza de maíz por ser más delgado. Lo indicado tendría relación con lo señalado por Zárate *et al.* (2020) que el tamaño de los sustratos puede influir en la variable tiempo de biodegradación, eficiencia y bioconversión.

4.3. Porcentaje de bioconversión de los residuos lignocelulosos

Como resultado del estudio experimental en la cuantificación de bioconversión en distintos residuos lignocelulósicos, se obtuvo que los tratamientos T1, T3, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T12 y T13 alcanzaron valores que oscilaron desde 7,6 a 43,4 %, cuyos resultados se encontraron por debajo de los recomendados para que sean aceptables en un proceso de bioconversión por acción de los hongos *Pleurotus ostreatus*. Sin embargo, el tratamiento a base de cascarilla de arroz obtuvo los valores más bajos; indicando que el proceso de degradación es muy lento; este resultado es similar al alcanzado por Liñán (2014) quien obtuvo una bioconversión de 1,33 %, aludiendo que las propiedades químicas de sustrato son de baja degradabilidad y no retiene humedad por lo que se sugiere unir con otros sustratos que tengan mayor proporción de nitrógeno.

Esta apreciación también lo argumenta Ruilova *et al.* (2014) quienes manifiestan que la cascarilla debe combinarse con otros residuos, debido, que posee una proporción de nitrógeno de 0,77 %, celulosa de 36 a 54 %, fibra de 47 a 57 %, lignina de 22 a 53 % y hemicelulosa de 18 a 41 % convirtiéndole en un residuos de larga degradación por lo que combinando mejora la bioconversión al asociar la cascarilla de arroz con otros residuos, permitiendo mantener a los sustratos con ventilación, humedad adecuada. En tanto Ríos *et al.* (2017), reportaron resultados de 19,3 % de bioconversión para cascarilla de arroz, mientras que Ramón y Ramón (2012) reportaron 60,3 % en residuos de cascarilla arroz, sin embargo, este resultado no significa un bioconversión ideal, debido que fue calculado en base a la cantidad de sustrato usado.

Otro de los tratamientos que alcanzó resultados bajos fue a base de tuza de maíz con 13,5 %, que podría deberse a que este sustrato durante la etapa de invasión micelial y fructificación presentó demasiada humedad, esta conclusión se relaciona con lo indicado por Cabrera (2014) quien concluyó que el exceso de humedad afecta el crecimiento de los hongos y por efecto el resto de variables. Un resultado cercano lo alcanzaron Ramón y Ramón (2012) con 14,5 % para residuos de tuza de maíz. No obstante, mostró mejor porcentaje de bioconversión al asociarse la tuza de maíz con cascarilla de arroz y bagazo de caña (T1: 50-25-25 %) alcanzando 27,7 %. Sin embargo, al asociarlo el sustrato de tuza de maíz a un menor porcentaje (16,67 %) como se aprecia en el tratamiento T14, se consiguió un mayor resultado de bioconversión llegando a 57,3 %.

En tanto, Montoya *et al.* (2015) reportaron una eficiencia de 30 % también para residuos de tuza de maíz; así mismo, indicó que este sustrato al no ser desmenuzado y utilizado en tamaños grandes absorbe bastante humedad favoreciendo la pudrición de los inóculos originando larvas que destruyen el micelio y los primordios. No obstante, Hernández y López (2006) obtuvieron un resultado de bioconversión en tuza de maíz de 56,7 %, mientras que Cueva (2018) logró 68,8 % de bioconversión en tuza de maíz; un resultado cercano al que obtuvo Toledo (2008) de 78,3 %; estos reportes son muy distante del resultado obtenido con sustratos de tuza de maíz al 100 %.

El tratamiento T6 a base de sustrato de coco no progresó sustancialmente, solo alcanzó un 32,6 % de bioconversión, pudiendo deberse a que los sustratos de coco usados no fueron maduros y en este estado la cáscara posee un sabor amargo que pudo inhibir el crecimiento de los hongos. Dado que valores reportados en residuos de coco como el de Bermúdez *et al.* (2020), manifestaron que alcanzaron una bioconversión de 56,2 %, del mismo modo González *et al.* (1993) logró un 80,6 %; mientras que Donado (2014) logró 111,0 %, en ambos casos se complementó el residuo de coco a otros sustratos. El único reporte cuyo resultado es cercano al obtenido, es de Cayetano *et al.* (2007) con 43,0 %. Igualmente, mejoró la bioconversión de residuos de coco cuando se asoció a otros residuos como cáscara de pina, bagazo de caña y panca de maíz (T11, T12). En estos casos tiene que ver mucho la composición nutritiva del sustrato, sobre todo, la relación C/N, si hay mucho nitrógeno se inhibe el desarrollo del hongo (Zárate *et al.*, 2020). La bioconversión disminuye en sustratos como la cáscara de arroz, bagazo de caña y cáscara de coco, debido a que su biodegradación es lenta por lo que es imprescindible asociarlo con otros sustratos (Flores, 2009).

En tratamientos a base de cáscara de piña no hay muchos antecedentes de investigación a pesar de ser un residuo agroindustrial abundante, no es muy bien aprovechado; y con los resultados logrados se puede atribuir que es un excelente sustrato para ser biodegradado por hongos *Pleurotus ostreatus* debido que alcanzó un 41,5 % de bioconversión (T5) y que su efecto mejora al asociarlo con otros sustratos con cáscara de coco, bagazo de caña y panca de maíz. Por consiguiente, los valores alcanzados no son distantes de los obtenidos por Igenicious y Bahlebi (2017) quienes lograron un 78,0 % y afirman que el proceso de bioconversión en residuos de piña mejora si se combina con sustratos de maíz u otros llegando hasta 90,0 %. Así mismo, Gómez y Orozco (2018), reportaron 61,1 % de bioconversión de los residuos de piña por acción de los hongos *Pleurotus ostreatus*.

Entre los tratamientos que consiguieron mejores resultados de bioconversión estuvieron el T11, a base de cáscara de piña, cáscara de coco y panca de maíz en proporciones de 50:25:25 con 53,6 %, seguido por el tratamiento (T2) a base de bagazo de caña de azúcar con 55,6 %. Este resultado alcanzado es cercano al logrado por Arias *et al.* (2005) de 47,0 % en la biodegradación de sustratos a base bagazo de caña de azúcar triturado en tamaño de 5 mm. En tanto Ríos *et al.* (2010) alcanzaron un porcentaje de bioconversión en residuos de bagazo

de caña de 40,0 % quienes atribuyeron que valores mayores o igual al valor alcanzado son eficientes. Sin embargo, también manifiestan que a pesar de tener un valor de conversión aceptable es bajo en comparación a otros residuos lignocelulósicos.

No obstante, los valores obtenidos son muy superiores al obtenido por Garzón y Cuervo (2008) con 20,8 % en sustrato de bagazo de caña, pero que este porcentaje mejoró cuando se asoció con residuos de aserrín, cáscara de café y tallo de maíz llegando hasta 45,0 %. Igualmente es superior al resultado conseguido por Figueroa y Lozada (2015) quienes realizaron reportes de bioconversión mediante el uso hongos *Pleurotus ostreatus* en bagazo de caña de azúcar, aserrín y tuza de maíz tanto en combinaciones y residuos homogéneos, de los cuales en mezclas se alcanzó entre 21,03 y 30,27 %. Por lo que se puede atribuir que los resultados logrados en el experimento mezclando los residuos de piña, coco y panca de maíz alcanzaron mejores resultados al comparar con otros estudios ya realizados.

El tratamiento con mejor porcentaje de bioconversión fue para el T4 a base panca de maíz con 88,7 %; atribuyéndose que es un excelente sustrato para combinarse con otros cuya particularidad de bioconversión es alta. Los valores alcanzados con este sustrato no son distantes de los reportado por Pinos (2020) de 77,9 %, Zárate (2015) con 88,2 %. Igualmente, Valera (2019), logró en residuos de panca de maíz una bioconversión de 87,6 y 102,94 %. Mientras que Muñoz (2017), reportó que la panca de maíz tiene un excelente proceso de bioconversión llegando a tener un promedio de 95 %. El reporte más bajo con respecto al uso de panca de maíz es el de Romero *et al.* (2018) quienes consiguieron una bioconversión en rastrojos de maíz en 64,3 %. El éxito de bioconversión de los residuos tiene completa relación con las propiedades del residuo, entre ellos desatacan que el residuo sea altamente fermentable, susceptible al hongo *Pleurotus* para su invasión y la humedad del sustrato entre 50 y 80 %, es lo óptimo para el desarrollo del hongo (Bermúdez *et al.*, 2014). El sustrato que muestra una bioconversión de 40 a 50 % es un indicador ideal de bioconversión (Sánchez *et al.*, 2006 citado por Garzón y Cuervo, 2008).

4.4. Porcentaje de biodegradación de los residuos lignocelulosos por efecto de los hongos *Pleurotus ostreatus*

De los tratamientos experimentales los residuos a base de cascarilla de arroz lograron los menores porcentajes de biodegradación con tan solo 9,3 % (T1), igualmente, mostraron baja degradabilidad los tratamientos T7: 13,2 %; T8: 9,8 % y T9: 10,3 % que estuvieron asociados con cascarilla de arroz. Los valores obtenidos son cercanos al reportado por Ramón y Ramón (2012) con 13,41 % a nivel de ceniza. Igualmente, son cercanos a los obtenidos por González (2018) quien concluyó que los residuos de cascarilla de arroz alcanzaron una reducción de masa en un 16,6 %. Con los resultados logrados y al contrastar con otros estudios se atribuye que el uso de cascarilla de arroz es un residuo lignoceluloso de muy baja degradabilidad al someterlos a biodegradación por Hongos *Pleurotus ostreatus* por lo que su uso no estaría recomendado para esta técnica. Este punto de vista está apoyado en lo argumentado por Liñán (2014).

Mientras que en el tratamiento de bagazo de caña (T2) alcanzó una biodegradación de 41,0 %, estando por debajo de lo reportado por Arias *et al.* (2005) de 75,0 %, en residuos de bagazo de caña de azúcar y muy cercano al resultado obtenido por Ramón y Ramón (2012) de 40,6 %, inclusive muy arriba por el resultado alcanzado por Cárdenas (2015) cuyo valor obtenido de degradación fue de 17,91 %. Se podría atribuir que los niveles de biodegradación de los residuos de caña dulce estarían relacionados con respecto a la invasión micelial, mientras menos invasión haya, menor la biodegradación y menor crecimiento de hongos; en efecto, se podría también deber a las características del residuo por poseer fibra resistente a la biodegradación. Esta afirmación se complementa con lo descrito por Arias *et a.* (2005) y Aranda *et al.* (2017).

Con respecto a los Tratamientos T5 a base de cáscara de piña y T6 con cascará de coco no hay muchos estudios donde haya evaluado el nivel de biodegradación, sin embargo, se les atribuye a estos sustratos fibrosos no ser muy utilizados, debido a que no retienen mucha humedad e imposibilitan el crecimiento de los hongos, pero que funcionan muy bien en asociación con otros sustratos como la paja de arroz, tuza de maíz, pulpa de café y otros (Lindao, 2016). La tuza de maíz tuvo una biodegradación de 18 %, cuyo valor es cercano al

obtenido por Mendieta y Marcillo (2012) quienes lograron un 14,76 % de biodegradación en rastrojos de maíz a mayor dosis de inóculo.

El tratamiento que resulto con mejor nivel de biodegradación fue el T4 a base de panca de maíz, con 48,8 %, cuyo sustrato no ha sido todavía probado a gran escala. Este resultado es cercano a los únicos reportes descritos por Zárate (2015) quien alcanzó resultados de biodegradación en residuos de panca de maíz por acción de distintas cepas de hongos *Pleurotus ostreatus* en valores de 39,0 a 51,7 %; en tanto Pinos (2020) consiguió resultados de biodegradación en panca de maíz de 31,5 %. En residuos de rastrojos de maíz Romero *et al.* (2018), lograron una biodegradación de 52,0 %. Los valores alcanzados para los residuos de panca de maíz cumplen con la conclusión que realiza Rodríguez (2015), que los hongos *Pleurotus ostreatus* pueden biodegradar los residuos hasta un 50 %, igual aporte realiza Albán (2018).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. El tiempo de colonización por hongos *Pleurotus ostreatus* sobre los sustratos experimentales fueron significativamente diferentes entre tratamientos ($p < 0,05$). Sin embargo, los tratamientos T11 y T4 presentaron el menor tiempo de colonización con 23,5 y 23,75 días, mientras que el mayor de los tiempos lo obtuvieron los tratamientos T1, T3 y T9 con 27,2; 27,0 y 26,5 días. En tanto, el resto de tratamientos oscilaron desde 24,2 a 25,7 días. Así mismo, el proceso de colonización fue incompleto en los tratamientos T1, T7, T8 y T9 por poseer sustratos fibrosos que no retuvieron mucha humedad como la cascarilla de arroz y fibra de coco y aquellos que captaron mucha agua como el bagazo de caña y tuza de maíz.
2. El tiempo de biodegradación en los tratamientos fueron significativamente diferentes ($P < 0,05$). En los cuales el tratamiento T1 a base de cascarilla de arroz tuvo el menor tiempo de biodegradación con 52,0 días, seguido por el T6 con residuos de cáscara de coco. Mientras que el mayor tiempo lo poseyeron los tratamientos T2, T3, T4 y T5 con 69,3; 75,0; 66,0 y 64,5 días.
3. El sustrato con mejor porcentaje de bioconversión por hongo *Pleurotus ostreatus* fue para el tratamiento T4 a base panca de maíz con 88,7 %. Así mismo, se constató que este sustrato es muy versátil al combinarse con sustratos que retienen poca agua como la cascarilla de arroz y fibra de coco. También se constató que la combinación de todos los residuos experimentales (Cascarilla de arroz, tuza de maíz, bagazo de caña dulce, cáscara de coco, panca de maíz y cáscara de piña) en proporciones de 16,67 % alcanzaron una bioconversión de 57,3 %. Mientras que los tratamientos T1 y T3 al 100 % alcanzaron los menores niveles de bioconversión con 7,6 y 13,5 %. Paralelamente otro de los sustratos que funciona de modo bueno fue el bagazo de caña dulce y la cáscara de piña (T2 y T11) alcanzando 55,6 y 53,6 %.

4. Los hongos *Pleurotus ostreatus* ostentaron un efecto biodegradador sobre los distintos residuos lignocelulósicos experimentales. Sin embargo, este efecto es de acuerdo a las características de residuos, es así, que los tratamientos T1, T3 T5, T7, T8, T9, T13 alcanzaron los menores niveles de biodegradación con 9,3; 11,9; 13,9; 13,2; 9,8; 10,3 y 9,0 % constituidos por sustratos de cascaría de arroz, bagazo de caña, tuza de maíz y cáscara de piña, bien en proporciones homogéneas o en mezclas. En nivel intermedio de biodegradación oscilaron los tratamientos T6, T10, T11 y T12 con 24,3; 17,1; 27,8 y 25,7 %, cuyos resultados indicaron que muchos de los residuos que alcanzaron niveles bajos de biodegradación mejoran cuando se les asocia a otros residuos. En tanto los sustratos que alcanzaron los mayores niveles de biodegradación fueron el T4 a base de panca de maíz con 48,8 %, seguido por el tratamiento T14 con 41,7 %; este último es un indicador que los residuos experimentales al 100 % funcionan mejor en combinaciones de proporciones en 16,67 %.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. A los investigadores y tesistas realizar estudios más a detalle sobre las estructuras de los residuos lignocelulósicos mediante otras técnicas analíticas a fin de evidenciar que polímeros se biodegradan en mayor cantidad por acción de los hongos. También fomentar el cultivo y propagación de hongos nativos presentes en los ecosistemas locales a fin de tener cepas accesibles a los interesados y reducir costos.
2. Utilizar hongos *Pleurotus ostreatus* como excelente biodegradador en cáscara de coco, cascarilla de arroz, bagazo de caña, cáscara de piña, tuza de maíz, panca de maíz en proporciones de 16,67 % en base a un kilo de sustrato, excepto cáscara de arroz al 100 %. Debido, que este porcentaje proporciona las condiciones para la bioconversión y biodegradación.
3. Utilizar los residuos agrícolas de panca de maíz en proporciones homogénea, debido que es muy bien aprovechado por *Pleurotus ostreatus* y tiene excelentes resultados en la bioconversión y biodegradación. Además, es un excelente sustrato para combinar con sustratos que no capturan mucha humedad. Teniendo en cuenta que en el Alto Mayo se generan abundantes residuos agroindustriales se recomienda realizar estudios de biodegradación lignocelulósicos con otros tipos de hongos a fin de identificar el más ideal y que genere el menor tiempo.
4. Realizar estudio de control o manejo de humedad en sustratos como tuza de maíz y bagazo de caña para la zona de Selva Alta, debido que se les atribuye buena bioconversión, sin embargo, en nuestro estudio no se alcanzó buenos resultados. Se recomienda no usar sustratos de cascarilla de arroz debido que su bioconversión y degradabilidad es muy baja, más bien se podría probar con otros tipos de hongos.

REFERENCIAS

- Adebayo, A. y Martínez, C. D. (2015). Oyster mushrooms (*Pleurotus*) are useful for utilizing lignocellulosic biomass. *African Journal of Biotechnology*, 14 (1), 52-67. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/115576/105149>
- Agamez, R. E. Y., Zapata, N. R. I., Oviedo, Z. L. E. y Barrera, V. J. L. (2008). Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma sp.* *Revista Colombiana de Biotecnología*, X (2), 23-34. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77610204.pdf>
- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology*. Editorial Academic Press, United States of America
- Albán, M. L. (2018). *Cultivo del hongo ostra (Pleurotus ostreatus) en tres tipos de residuos de la madera de Bolaina blanca (Guazuma crinita)*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3183/alban-marquez-lisete.pdf?sequence=1>
- Alder, M. y Zubillaga, M. F. (2014). *Girgolas: Una alternativa de diversificación productiva en los valles Patagónicos*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-grgolas__una_alternativa_de_diversificacin_para_los_v.pdf
- Alizadeh, H., Teymouri, F., Gilbert, T. I. y Dale, B. E. (2005). Pretreatment of Switchgrass by Ammonia Fiber Explosion (AFEX). *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 124 (1-3), 1133–1142. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-59259-991-2_94
- Aranda, I. E. M., López, V. J. C.; Vargas, V. L. M., Ramos, J. J. A., Martínez, C. D. C. y Morales, A. P. (2017). Evaluación de residuos de caña de azúcar con inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus* para alimentación bovina. <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/3-COPRODUCTOS-2017.pdf>
- Ardón L. C. E. (2007). *La producción de los hongos comestibles*. https://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/07/07_1932.pdf
- Arias, C., Ortega, G. M., Bueno, G. G., Betancourt, R. D., Álvarez, I. y González, A. L. (2005). Biotransformación de residuos lignocelulósicos con hongos *Pleurotus*.

- Arias, F. G (2012). *El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. <http://190.57.147.202:90/xmlui/bitstream/handle/123456789/231/El-Proyecto-de-Investigacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, Z. M., Angarita, V. M. J., Aguirre, C. A. M., Restrepo, F. J. M. y Montoya, V. C. (2009). Estrategias para incrementar la producción de metabolitos secundarios en cultivos de células vegetales. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 62 (1), 4881-4895. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a15v62n1.pdf>
- Atilano, C. M. M., García, G. A., Álvarez, V. L. H. y García, R. R. B. (2017). Efecto de diferentes residuos lignocelulósicos en la producción de lacasas por un hongo de pudrición blanca. <https://rcfb.uanl.mx/index.php/rcfb/article/view/29/29>
- Autoridad Regional Ambiental (2013). *Plan de Acción Ambiental Regional 2013-2021 Región San Martín*. <https://www.regionsanmartin.gob.pe/OriArc.pdf?id=78162>
- Azabache, L. Y. F., Ruíz, R. A., Rodríguez, P. L.E. y Díaz, V. A. I. (2014). Aprovechamiento sistémico de la pulpa de café como residuo agrícola y tratamiento de las aguas mieles por biorremediación en el Alto Mayo-2014. https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/288/INF_14.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Belletini, M. B., Fiorda, F. A., Maieves, H. A., Teixeira, G. L., Ávila, S., Hornung, P. S., Júnior, A. M. y Ribani, R. H. (2016). Factors affecting mushroom *Pleurotus spp.* *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26 (4), 633-643. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.005>
- Barba, C. J. M., López, C. J. I. (2017). *Guía práctica para el cultivo de sepas*. <http://publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/csetas.pdf>
- Bernardi, E, Do Minotto, E. y Nascimento, J. S (2013) Evaluation of growth and production of *Pleurotus sp.* in sterilized substrates. *Arq. Inst. Biol., São Paulo*, 80 (3),318-324. <https://www.scielo.br/j/aib/a/V89FKDFZPHcvDhzNsQGw3zm/?format=pdf&lang=en>
- Barragán, H. B. E., Téllez, D. Y. A. y Laguna, T. A. (2008). Utilización de residuos agroindustriales. *Revista Sistemas Ambientales*, 2(1), 44-50.

https://www.researchgate.net/profile/Blanca_Barragan/publication/310441706_UTILIZACION_DE_RESIDUOS_AGROINDUSTRIALES/links/582d2bcb08ae004f74b94c1c/UTILIZACION-DE-RESIDUOS-AGROINDUSTRIALES.pdf

Barroso, C. M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
http://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf

Bermúdez, S. R. C., García, O. N., Álvarez, C. L. M., Serrano, A. M. y Plana, P. L. (2020). Utilización de cáscara (fibra) de coco para el cultivo de setas comestibles-medicinales de interés comercial. *Tecnología Química*, 40(2), 260-268.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v40n2/2224-6185-rtq-40-02-260.pdf>

Bermúdez, S. R. C., García, O. N., Serrano, A. M., Rodríguez, C. M. I. y Mustelier, V. I. (2014). Conversión de residuales agroindustriales en productos de valor agregado por fermentación en estado sólido. *Tecnología Química*, 34(3), 263-274.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v34n3/rtq05314.pdf>

Cabrera, E. S. (2014). *Biodegradación de pañales desechables usados mezclados con residuos de jardinería por acción de dos hongos*. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Metropolitana. México.
http://energia.azc.uam.mx/images/PDF/ProyecINVES/Tec_Sust/BIODEGRADACION-DE-PAALES-DESECHABLES-USADOS-MEZCLADOS-CON.pdf

Cárdenas, Q. Y. (2015). *Efecto de sustratos a base de residuos agrícolas, en el cultivo del hongo comestible Pleurotus ostreatus (Jacquin Fries) Kummer, distrito de Santa Ana, La Convención*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Qiullabamba, Cusco, Perú:
http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/UNSAAC/3893/253T20150225_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cayetano, C. M., Mata, G. y Bernabé, G. T. (2007). Cultivo de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* sobre dos subproductos agrícolas en guerrero.
https://www.researchgate.net/profile/Jose-Sanchez-104/publication/256528512_El_cultivo_de_setas_Pleurotus_spp_en_Mexico/links/542ec8650cf29bbc126f5f79/El-cultivo-de-setas-Pleurotus-spp-enMexico.pdf#page=219

Chang, S. T. y Miles, P. G. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact*. CRC Pres, United States of America.

- Chen, S. H., Zhang, X., Singh, D., Yu, H. y Yang, X. (2010). Biological pretreatment of lignocellulosics: potential, advances and challenges. *Biocombustibles*, 1 (1), 177-199. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.4155/bfs.09.13>
- Chaturvedi, V. y Verma, P. (2013). An overview of the key pretreatment processes employed for the bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value-added products. *Biotech* 3, 415–431 (2013). <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0167-8>
- Colmenares, M. W., Damián, S. L., Azabache, L. Y. y Terrones. V. Y. (2014). Eficiencia del carbón activado obtenido experimentalmente a partir de residuos agrícolas del Alto Mayo. *Revista Científica Pakamuros*, 2(1), 6-11. <http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/23/23>
- Córdoba, B. R. G. y Cultid, C.G. R. (2015). *Estudio comparativo de la actividad enzimática de Lacasa (Lac), Lignina Peroxidasa (LiP) y Magnesio Peroxidasa (MnP) de "Pleurotus ostreatus" cultivado en residuos lignocelulósicos de raquis de palma de aceite, bagazo de fique y pulpa de café.* (Tesis de pregrado) Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.: <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/90895.pdf>
- Cortés, C. M. E y Iglesias, L. M. (2004). *Generalidades sobre la metodología de la investigación.* http://www.ucipfg.com/Repositorio/MIA/MIA-12/Doc/metodologia_investigacion.pdf
- Cortés, O. W. G. (2011). Materiales lignocelulósicos como fuente de biocombustibles y productos químicos. <https://publicacionesfac.com/index.php/TecnoESUFA/article/view/366/486>
- Cruz, D., López de León, E., Pascual, L. F., y Battaglia, M. (2011). Guía técnica de producción de hongos comestibles de la especie *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*, 104 (3/4), 139-154. <https://doi.org/10.12895/jaeid.20103/4.16>
- Cruz, D., Capa, D., Maza, D., Ojeda, R., y Benítez, A. (2020). Producción y valor proteico de *Pleurotus ostreatus* en la región sur de Ecuador. *ACI Avances de en ciencias e ingeniería* 12 (21), 34-43. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/1806/2062>
- Cueva, C. (2018). *Aprovechamiento de residuos de plátano consuelo mireya, cacao y maíz como sustratos para la producción del hongo "Pleurotus ostreatus", en la comunidad la Magdalena de Francisco de Orellana.* (Tesis de grado). Escuela

Superior de Chimborazo, Orellana Ecuador.
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10172/1/236T0370.PDF>

- Das, H., y Singh, S. K. (2004). Useful by-products of cellulosic waste from agriculture and the food industry: a critical assessment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44 (2), 77-89. <https://doi.org/10.1080/10408690490424630>
- Dashtban, M., Schraft, H. y Qin, W. (2009). Fungal bioconversion of lignocellulosic residues; opportunities and prospects. *International Journal of Biological Sciences*, 5 (6), 578-595. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2748470/pdf/ijbsv05p0578.pdf>
- Delfín, A. I. y Durán, B. C. (2013). Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19 (1), 37-45. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37019104.pdf>
- De Carvalho C. S. M, De Aguiar L. V. B, Sales-Campos C, de Minhoni M. T. A, y De Andrade, M. C. N (2012). Applicability of the use of waste from different banana cultivars for the cultivation of the oyster mushroom. *Brazilian Journal of Microbiology* (2012): 819-826. <https://www.scielo.br/j/bjm/a/wb777BLFWX7KVxfCqnSgXCd/?format=pdf&lang=en>
- Delgado, M. F. (2016). *Pretratamiento de ozonólisis de bagazo de caña*. (Tesis de pregrado) Universidad de Valladolid, Valladolid, España. <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18176/TFG-I-407.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Donado, P. T. V. (2014). *Evaluación de tres sustratos para la producción de hongo ostra (Pleurotus ostreatus); Moyuta, Jutiapa*. (Tesis de grado) Universidad Rafael Landívar, Escuintla, Guatemala. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/17/Donado-Tania.pdf>
- Du, W., Yu, H., Song, L., Zhang, J., Weng, C., Ma, F. y Zhang, X. (2011). The promoting effect of by-products from *Irpex lacteus* on subsequent enzymatic hydrolysis of bio-pretreated cornstalks. *Biotechnology for biofuels*, 4 (1), 37. <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1754-6834-4-37>
- Durán, A. D, Cruz, R. L., Gonzales, L. y Sierra, R. (2019). Use of tropical fruit waste for the production of lignocellulolytic enzymes and fungal biomass. https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Duran-Aranguren/publication/341439968_Use_of_Tropical_Fruit_Waste_for_the_Produ

ction_of_Lignocellulolytic_Enzymes_and_Fungal_Biomass/links/5ec08cf692851c11a86c7149/Use-of-Tropical-Fruit-Waste-for-the-Production-of-Lignocellulolytic-Enzymes-and-Fungal-Biomass.pdf

- Figuerola, G. H. A. y Lozada, C. D. L. (2015). *Evaluación de tres residuos lignocelulósicos para la producción de Pleurotus ostreatus bajo condiciones controladas en la finca Berlín, San Benito, Santander*. (Tesis de grado) Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1540&context=ing_ambiental_sanitaria
- Flores, R. P. A. (2009). *Compostaje de dos materiales de bagazo de maguey tequilero (Agave tequilana Weber) y su determinación física y fisicoquímica*. (Tesis de Maestría) Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR de Santa Cruz de Xoxocotlán, México. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIR_OAX/84/FLORES%20R%c3%8dOS%20P%20A%2c%202009.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gaitán H. R., Salmones, D., Pérez, M.R. y Mata, G. (2006). *Manual práctico de cultivo de setas: aislamiento siembra y producción*. http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV_pdf/libros/Manual_PleurotusGaitan.pdf
- Gaitán, H. R. y Silva, H. A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Micología*, 43, 43-47. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmm/v43/0187-3180-rmm-43-00043.pdf>
- Gao, Z., Mori, T. y Kondo, R. (2012). The pretreatment of com stover with *Gloeophyllum trabeum* KU-41 for enzymatic hydrolysis. *Biotechnology for Biofuels*, 5(1), 28. <https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1754-6834-5-28>
- García, G. M. B. y Villegas, V. M. B. (2015). *Estudio de la eficiencia biodegradadora de organismos fúngicos en resinas fenólicas*. (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4772/1/236T0139.pdf>
- Garzón, G. J. P. y Cuervo, A. J. L. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente origen. *Nova*, 6(10), 126-140. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/403/1142>

- Gil, A. (2021). Current insights into lignocellulose related waste valorization. *Chemical Engineering Journal Advances*, 8 (2021), 100186
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100186>
- Godoy, P. D. J., Daza, L. P. R., Fernández, C. L. M., Layza, M. A. E., Roque, A. R. E., Hidalgo, L. V., Gamarra, C. S. G., y Gómez, B. C. A. (2020). Caracterización del valor nutricional de los residuos agroindustriales para la alimentación de ganado vacuno en la región de San Martín, Perú. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 21, (2), e1374.
<http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1374/626>
- Gómez, A. M. y Orozco, O. J. A. (2018). Producción de Orellana (*Pleurotus ostreatus*) empleando tusa de maíz (*Zea may*), residuos de Piña (*Ananas comosus*), y Taruya (*Eichhornia crassipes*). *Revista INNOCAE*, 2 (1), 15-21.
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:9ZYWsMth2GYJ:revistas.sena.edu.co/index.php/innocae/article/download/3331/3789/+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=pe&client=opera>
- González, V. K. D., Daza, R. D., Caballero, A. P. A. y Martínez, G. C (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, 43, 499-517.
<https://www.redalyc.org/pdf/3217/321745921021.pdf>
- González, B. T., Domínguez, R. M. S. y Bautista, B. S. A. (1993). Cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* var. Florida sobre fibra de coco y pulpa de café. *Revista Mexicana de Micología*, 9, 13-18. <https://doi.org/10.33885/sf.1993.3.796>
- Grupta, A. y Verma, J. P. (2015). Sustainable production of bioethanol from agro-waste: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 550-567.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.032>
- Hadar, Y., Kerem, Z., Gorodecki, B. y Ardon, O. (1992). Utilization of lignocellulosic waste by the edible mushroom, *Pleurotus*. En Rosenberg, E. (1992) *Microorganisms to Combat Pollution*. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1672-5_6
- Hernández, C. R. A. y López, R. C. L. (2006). *Evaluación de crecimiento y producción de Pleurotus ostreatus sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca*. (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8275/tesis257.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hernández, S. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2017). *Metodología de la investigación*. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hibbett, D. S., Binder, M., Bischoff, J. F., Blackwell, M., Cannon, P. F., Eriksson, O. E., y Lucking, R. (2007). A high-level phylogenetic classification of fungi. *Mycological Research*, 111 (5), 509-547. <https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=13226&content=PDF>
- Holgado, R. M. E. (2018). *Evaluación de la producción de Pleurotus ostreatus (Jacq.ex Fr.) Kumm (Basidiomycete) en residuos lignocelulósicos como alternativa agroecológica en la comunidad de Huayllayccorca, Cusco*. (Tesis de pos grado) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú. <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/5892/BIDhorome.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hu, G., Heitmann, J. y Rojas, O. (2008). Feedstock pretreatment strategies for producing ethanol from wood, bark, and forest residues. *Bioresources*, 3 (1), 270-294. https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_03_1_0270_Hu_HR_Feedstock_Pretreatment/188
- Igenicious, N. H. y Bahlebi, K. E. (2017). Pineapple (*Ananas comusus*) plan material as supplement for maize residue-based oyster mushroom substrate and reduction of cadmium Soil Contamination. *Hortscience*, 52(4):667-671. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10880-16>
- Imlimthan, S., Figueiredo, P., Santos, H. A. y Sarparanta M. (2021). Chapter 1 - Introduction to lignocellulosic materials. En Figueiredo, P. y Santos, H. (2021). Lignin-based materials for biomedical applications preparation, characterization, and implementation. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820303-3.00010-2>
- Iqbal, H., Kyazze, G., y Keshavarz, T. (2013). Advances in the valorization of lignocellulosic materials by biotechnology: an overview. https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_08_2_3157_Iqbal_Review_ValORIZATION_Lignocellulosic_Materials/2122
- Klug, M. (2012). Pirolisis un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química PUCP*, 26 (1-2), 37-40. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547/5543>

- Koutrotsios, G., Mountzouris, K. C., Chatzipavlidis, L., y Zervakis, G. I. (2014). Bioconversión de lignocelulósicos residuos by *Agrocybe cylindracea* and *Pleurotus ostreatus* mushroom fungi – Assessment of their effect on the final product and spent substrate properties. *Food Chemistry*, 161, 127-135. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461400524X>
- Kuijk, S. J. A., Sonnenberg, A. S. M., Baars, J. J. P., Hendriks, W. H. y Cone, J. W. (2015). Lignocelulósicos biomass treated with fungi as a feed ingredient for ruminants: a review. *Advances in Biotechnology*, 33 (1), 191-202. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975014001633>
- Kulikova, N. A., Klein, O. I., Stepanova, E. V. y Koroleva O. V. (2011). Use of basidiomycetes in industrial waste processing and utilization technologies: Fundamental and applied aspects (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(6), 565–579. <https://doi.org/10.1134/S000368381106007X>
- Kumar, A. K. y Sharma, S. (2017). Recent updates on different methods of pretreatment of lignocelulósicos feedstocks: a review. *Bioresources and Bioprocessing* 4 (7), 1-19. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186%2Fs40643-017-0137-9.pdf>
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J. y Stroeve, P. (2009). Lignocelulósicos biomass pretreatment methods for efficient hydrolysis and biofuel production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48 (8), 3713-3729. <https://doi.org/10.1021/ie801542g>
- Kumar, R., Singh, S., y Singh, O. V. (2008). Bioconversión de lignocelulósicos biomass: biochemical and molecular perspectives. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35 (5), 377-391. <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0327-8>
- Lindao, P. J. D. (2016). *Producción y análisis bromatológico del hongo ostra (Pleurotus ostreatus), cultivado con sustratos de cáscara de cacao, plátano, coco y raquis de palma africana*. (Tesis de grado) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1876/1/T-UTEQ-0036.pdf>
- Liñán, E. L. F. (2014). *Evaluación del crecimiento de Pleurotus ostreatus “Callampa” sobre cascarilla de arroz*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional San Martín, Moyobamba, San Martín. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/267/6057513.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Madadi, M. y Abbas, A. (2017). Lignin degradation by fungal pretreatment: a review. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 08 (02). https://pdfs.semanticscholar.org/96c7/f987b5fc7ac73a574ed07b7b59d62fea110a.pdf?_ga=2.1037169.1914437588.1570026355-435070217.1569862400
- Mandeel, Q. A., Al-Laith, A. A. y Mohamed, S. A. (2005). Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus spp.*) On various lignocellulosic residues. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21, 601-607. <https://doi.org/10.1007/s11274-004-3494-4>
- Marcelo, A. M. D, Antonio, B. W. y Álamo, V. M. V. (2016). Evaluación del potencial energético de los residuos de la caña de azúcar en el Perú. <http://xxiiispes.perusolar.org/wp-content/uploads/2016/10/Ponencia-N%C2%AA-26-Viernes-304.pdf>
- Marín, C. M. A., Soriano, M. A. L., Portillo, R. E., Tejocote, R. M., Morales, M. M., Sánchez, P. M. E., Mora, E. R. y Ramos, C. M. E. (2013). Obtención de enzimas hidrolasas en micelio de *Pleurotus djamor* fermentado en residuos agroindustriales de piña (*Ananas comosus* L). *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 4(7), 13-22. <http://rddb.cbq.ipn.mx/bitstream/20.500.12273/266/1/3.pdf>
- Martínez, Y. P. N., Garzón, C. J. E., Henao, E. W. y Guarnizo, F. A. (2008). Evaluación de la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* sobre los residuos derivados de la producción comercial de culmo de la guadua *Angustifolia Kunth*. *Revista Tumbaga*. 3, 43-53. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3993632>
- Mendieta, M. R. R. y Marcillo, V. F. V. (2012). *Utilización del hongo Pleurotus sapidus en la degradación lignocelulósica del rastrojo de maíz para la elaboración de abono en agricultura*. (Tesis de pregrado) Escuela Superior de Manabí Manuel Félix López. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/166/1/RONALD%20MENDIETA-%20FABIAN%20MARCILLO.pdf>
- Mendoza, H., Juscamaita, J. y Quipuzco, L. (2019). Análisis de la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* obtenida a partir de los subproductos de la etapa de despulpado del café. *Agroindustrial Science*. 9(2), 179 – 187. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/2709/3246>
- Michael, H.W., G. Bultosa y Pant. L.M. (2011). Nutritional contents of three edible oyster mushrooms grown on two substrates at Haramaya, Ethiopia, and sensory properties of boiled mushroom and mushroom sauce. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(4), 732–738. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02543.x>

- Mikiashvili, N., Wasser, S. P., Nevo, E. y Elisashvili, V. (2006). Effects of carbon and nitrogen sources on the activity of the ligninolytic enzyme *Pleurotus ostreatus*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 22, 999–1002. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-006-9132-6>
- Millati, R., Syamsiah, S., Niklasson, C., Cahyanto, M., Ludquist, K. y Taherzadeh, M. (2011). Biological treatment of lignocelluloses with white rot fungi and its applications: a review. *Bioresources*, 6 (4), 5224-5259. https://pdfs.semanticscholar.org/e90d/f3e829a9935c6e4bf8bc030c69ff1760627b.pdf?_ga=2.38923555.1609295090.1569862400-435070217.1569862400
- Monterroso, F. O. G. (2009). *Efecto de la suplementación de tallo de maíz (Zea mays L.) con nitrato de amonio, nitrato de potasio y urea en el cultivo del hongo Pleurotus ostreatus (cepa ECS-152)*. (Tesis de pregrado) Universidad de San Carlos, Guatemala. <http://www.repositorio.Usac.edu.gt/9488/1/Oscar%20Monterroso.pdf>
- Montoya, B. S., Restrepo, F. G. M. y Tabares, L. L. A. (2015). Rendimientos en el cultivo de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius*. <https://doctoradoagrarias.files.wordpress.com/2015/07/rendimientos-en-el-cultivo-de-los-hongos-pleurotus.pdf>
- Mora, Z. A., Chávez, C. H., Fonseca, G., Cabra, J. A. y Carmona, S. Y. (2005). Desarrollo de un inóculo microbiano empleando lodos activados para la remoción de ácido sulfhídrico (H₂S) mediante biofiltración. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 7(2), 26-34. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/493/884>
- Morales, R. S. (2015). *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos*. (Tesis de posgrado) Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. http://digital.csic.es/bitstream/10261/132717/1/morales_de_la_rosa_silvia.pdf
- Municipalidad Distrital de Nueva Cajamarca (2006). *Plan de Ordenamiento Territorial, distrito de Nueva Cajamarca., provincia de Rioja, Región San Martín*. http://www.nuevacajamarca.gob.pe/docs/2006/PLAN_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL_2006.pdf
- Muñoz, C. E. N. (2017). *Comparativo de dos sustratos y cuatro paquetes tecnológicos utilizados en la producción comercial de Pleurotus ostreatus*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2830/F01-M86-T.pdf?sequence=1&isAllowed=yurz>

- Naraian, R., Sahu, R.K., Kumar, S. Garg, S.K., Singh, C.S. y Kanaujia, R.S. (2009). Influence of different nitrogen rich supplements during cultivation of *Pleurotus florida* on corn cob substrate. *The Environmentalist*, 29, 1 (2009). <https://doi.org/10.1007/s10669-008-9174-4>
- Nelson, D. L. y Cox, M. M. (2006). *Principios de bioquímica*. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Ochoa, C. D. A. y Montoya. R. A. (2010). Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 23 (2), 55-74. <https://www.redalyc.org/pdf/909/90920053003.pdf>
- Okano, K., Fukui, S., Kitao, R. y Usagawa, T. (2007). Effects of culture length of *Pleurotus eryngii* grown on sugarcane bagasse on in vitro digestibility and chemical composition. *Animal Feed Science and Technology*, 136(3-4), 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.08.024>
- Ortiz, B. F. y Muñoz, E. M. L. (2013). *Cultivo de Pleurotus ostreatus sobre paja de cereales*. <https://docplayer.es/29019958-Cultivo-de-pleurotus-ostreatus-sobre-paja-de-cereales.html>
- Ortiz, V. M. I. (2015). *Determinación de la influencia de la aplicación de diferentes dosis de estiércol de ganado vacuno en la producción de compost a partir de la cascara de cacao (Theobroma cacao L.)*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/382/TECO_10.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_04_1_0268_Patel_GG_CultureConditions_Inducers_Laccase
- Peñaranda, G. L. V., Montenegro. G. S. P. y Giraldo, A. P. A. (2017). Uso de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista de Investigaciones Agrarias y Ambientales*, 8 (2), 141-150. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285350>

- Peralta, R. M., Polacchine, S. B., Gomes, C. R. C., Kato, C. G., Vicente, F. A. S. y Bracht, A. (2017). Chapter 5 - Enzymes from basidiomycetes peculiar and efficient tools for biotechnology. En Brahmachari, G. (2017). *Biotechnology of microbial enzymes production, biocatalysis and industrial applications*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803725-6.00005-4>
- Pinos, C. K. P. (2020). *Aprovechamiento de hongos (Pleurotus ostreatus) en la degradación lignocelulósica de residuos de cosecha para la obtención de abono orgánico, en la zona de Mocache*. (Tesis de pregrado) Universidad Técnica Estatal de Quevedo de Mocache, Los Ríos, Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5999/1/T-UTEQ-0285.pdf>
- Puig, F. Y., Crespo, Z. L. M., Cardona, S. Y. R., Matos, M. L., y Serrano, A. M. (2020). Evaluación de tres residuos agroindustriales como sustratos para cultivo del *Pleurotus ostreatus* Var. Florida. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 4 (7), 2697-3456 <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/43/107>
- Putro, J. N., Soetaregjo, F. E., Lin, S. Y., Ju, Y. H. y Ismadji, S. (2016). Pretreatment and conversion of lignocellulosic biomass into valuable chemicals. *RSC Advances*, 6 (52), 46834-46852. <https://doi.org/10.1039/C6RA09851G>
- Quintero, G. J. R. y Quintero, G. L. E. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *Revista I3+*, 2(2), 28 – 44. <http://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/109/108>
- Ramírez, B. S. G. (2012). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de arroz (Oriza sativa) y residuos de papa (Solanum tuberosum) para la producción de Tichoderma spp* (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Ambato; Ambato, Ecuador. <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3063/1/SBQ.29.pdf>
- Ramón A. P. A. y Ramón, A.D.A (2012). *Análisis de la capacidad degradativa de residuos lignocelulósicos utilizando el hongo Pleurotus ostreatus var. Florida*. (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2811/6/UPS-CT002462.pdf>
- Restrepo, D. M., Rodríguez, S. E. y Manjarrés, P. K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción + Limpia*, 6, (2), 47-57. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4330859>

- Ríos, M. P., Hoyos, J. L. y Mosquera, S. A. (2010). Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8 (2), 86-94. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n2/v8n2a12.pdf>
- Ríos, R. W. F., Valdez, N. R. A. y Jiménez, F. J. P. (2017). Aislamiento, propagación y crecimiento de hongos comestibles nativos en residuos agroindustriales. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 327 – 335. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v8n4/a04v8n4.pdf>
- Rivera, O. R. L., Martínez, M. A. y Morales, V. S. (2013). Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Revista Luna Azul*, 37, 89-100. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321729206008.pdf>
- Rodríguez, N. J. R. (2015). *Acción degradativa de hongos basidiomycetes sobre residuos agroindustriales de cultivos de café y plátano* (Tesis de maestría) Universidad Católica de Manizales, Departamento de Caldas, Colombia. <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1094/Rafael%20Rodriguez%20nu%C3%B1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, V. N., Araque, F. M. L. y Perdomo, P. F. (2006). *Producción de los hongos comestibles Orellanas y Shiitake*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/857/1/Hongos%20comestibles%20Orellanas%20Shiitake.pdf>
- Rhodes, C. J. (2015). Mycoremediation (bioremediation with fungi)-growing mushrooms to clean the earth. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 26 (3), 196-198. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3184/095422914X14047407349335?src=getfr>
- Rojas, R. L. (2013). Basidiomicetos: una herramienta biotecnológica prometedora con impacto en la agricultura. *Fitosanidad*, 17 (1), 49-55. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209128776009>
- Romero, A. O., Valencia-De Ita, A., Rivera, T. J. A., Tello, S. L., Villarreal, E. O. A. y Damián, H. M. Á. (2018). Capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando alfalfa deshidratada como complemento en diferentes sustratos agrícolas. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15 (2), 145-160. <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v15n2/1870-5472-asd-15-02-145.pdf>
- Romero, O., Huerta, M., Damián, M. A., Macías, A., Tapia, A M., Parraguirre, J. F. C. y Juárez, J. (2010). Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con

el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L., cv. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos Agrícolas. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 53-63. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v34n1/a05v34n1.pdf>

Rosas, C. D., Ortiz, L. H., Herrera, C. J. A. y Leyva, O. O. (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. *Agroproductividad*, 9 (8), 18-23. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/796/661>

Ruiz, D. M., Carrillo, C. C., Sosa, F., Aular, L. M., Mora, R., Castillo, L., Ortega, B., Castillo, E., Ramírez, E., Rodríguez, J., León, M., Silva, C., Tovar, M. R., Martínez, A., Reverón, A. M. y Gámez, F. (2018). Comparación de métodos para analizar materia orgánica en materiales orgánicos. https://www.researchgate.net/profile/Magaly_Ruiz4/publication/327402988_COMPARACION_DE_METODOS_PARA_ANALIZAR_MATERIA_ORGANICA_EN_MATERIALES_ORGANICOS/links/5b8d56d5a6fdcc1ddd089182/COMPARACION-DE-METODOS-PARA-ANALIZAR-MATERIA-ORGANICA-EN-MATERIALES-ORGANICOS.pdf

Ruilova, C. M. B., Martínez, M. E. O., Reyes, B. W. O. y Cobos, M. F. J. (2020). Evaluación de la productividad del *Pleurotus ostreatus* cultivados por fermentación sólida, en residuos agrícolas típicos de la provincia de Bolívar-Ecuador. *Journal of Science and Research*, 5 (2020), 2528-8083. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1011/710>

Ruilova C. M. B. y Hernández, M. A. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48, (1), 54-59. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223131337008.pdf>

Salamanca, J. P. (2018). *Efecto del CaO como agente de desinfección de dos sustratos (bagazo de caña de azúcar y heno) para la producción de orellanas (Pleurotus Ostreatus)*. (Trabajo de grado) Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18130/SalamancaJuanPablo2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Salmones, D., Mata, G. y Waliszewski, K. (2005). Comparative culture of *Pleurotus* spp. on coffee pulp and wheat straw: biomass production and biodegradation of the substrate. *Biological Source Technology*, 95 (5), 537-544. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.019>

- Sánchez, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Advances in Biotechnology*, 27 (2), 185-194. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.001>
- Sánchez, O. J. y Cardona, C. A. (2008). Trends in the biotechnological production of fuel ethanol from different raw materials. *Bioenvironmental Technology*, 99. 5270-5295. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.013>
- Sánchez, V. J. E. y Mata, G. (2012). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica*. https://incol.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1005/176/1/1865_2012-10482.pdf
- Saval, S. B. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. *Biotecnología*, 16 (2), 14 – 46. https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf#page=14
- Schumacher, B. A. (2002). Methods for the determination of total organic carbon in soils and sediments. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/237792048_Methods_for_the_Determination_of_Total_Organic_Carbon_TOC_In_Soils_and_Sediments
- Sharma, R., Oberoi, H. S., y Dhillon, G. S. (2016). Fruit and Vegetable Processing Waste: Renewable Feed Stocks for Enzyme Production. *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production*, 23–59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802392-1.00002-2>
- Sindhu, R., Binod, P. y Pandey, A. (2015). Biological pretreatment of lignocellulosic biomass: an overview. *Biological Source Technology*, 199, 76-82. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415011347>
- Sosa, L. O. O (2012). *Evaluación de cuatro sustratos para la producción artesanal del hongo ostra (Pleurotus ostreatus), bajo condiciones controladas, en el Municipio de la Unión, Zacapa*. (Tesis de pregrado) Universidad Rafael Landívar, Zacapa, Guatemala. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/06/04/Sosa-Oscar.pdf>
- Suryadi, H., Judono, J. J., Putri, M. R. Ecclesia, A. D. Ulhaq, J. M. Agustina, D. N. y Sumiati, T (2022). Biodelignification of lignocellulose using ligninolytic enzymes from white-rot fungi. *Heliyon*, 8 (2), e08865. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08865>

- Toledo, A. M. F. (2008). *Residuos de maíz y quinua como sustratos potenciales para el cultivo de hongos comestibles Pleurotus ostreatus*. (Tesis de pregrado) Escuela Superior Chimborazo, Ecuador.
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/229/1/236T0015.pdf>
- Valera, L. A. (2019). *Rendimiento del hongo comestible de hongos Pleurotus ostreatus cultivado en diferentes sustratos a base de residuos agroindustriales de la ciudad de Tacna*. (Tesis de postgrado) Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
http://redi.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/3728/207_2019_valera_lopez_a_espg_maestria_alimentos.pdf?seque
- Vargas, C. Y. A. y Pérez, P. L. I. (2018). Utilización de residuos agroindustriales para mejorar la calidad del medio ambiente. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 14 (1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Vargas, P. S., Hoyos, J. L. y Mosquera, S. A. (2012). Uso de hojarasca de roble y bagazo de caña en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 136-145.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a16.pdf>
- Zárate, S. J. R. (2015). *Producción y desarrollo de cuatro aislamientos de Pleurotus ostreatus (Jacq.), cultivados en restos de cosecha*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
<http://190.119.243.88/bitstream/handle/UNALM/919/T007161.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zárate, S. J. R., Santos, M. N., Caballero, E. N. M. Martins, O.G y Herrera, A. A. P. (2020). Use of lignocellulosic corn and rice wastes as substrates for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) cultivation. *SN Applied Sciences*, (2020) 2:1904. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s42452-020-03720-z.pdf>
- Urrestarazu, G, (2000). *Cultivo sin suelo*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=1995>.

TERMINOLOGÍA

Bioconversión. Es la transformación de residuos orgánicos en productos aprovechables mediante el uso de agentes biológicos, químicos o físicos (Kumar *et al.* 2008).

Biomasa. Es el conjunto de residuos biodegradables provenientes de la agricultura, silvicultura, industria y fracción biodegradable municipal al que se le puede otorgar diferentes utilidades (Quintero y Quintero, 2015).

Conorcios microbianos. Es la integración de varios microorganismos de distintas especies que interactúan en una comunidad generando una simbiosis donde todos se benefician (Ochoa y Montoya, 2010).

Enzimas. Son moléculas especializadas que aceleran las reacciones químicas en completo equilibrio en los seres vivos y el ecosistema natural (Nelson y Cox, 2006).

Hidrólisis. Es una reacción química entre las moléculas de agua con una macromolécula actuando como escarificador de un objeto (Morales, 2015).

Inóculo. Sustancia u agente que en condiciones favorables se reproduce y desarrolla, este puede ser un solo microorganismo o pueden ser varios (Mora *et al.* 2005).

Metabolito. Es una molécula producida durante el metabolismo producto de las reacciones químicas (Arias *et al.* 2009).

Ozonólisis. Es una reacción química entre moléculas de ozono y alqueno que se utiliza para pretratar biomasa vegetal. Es una tecnología que requiere de sumo cuidado por ser una técnica explosiva y toxica (Delgado, 2016).

Pirolisis. Es un procedimiento de desintegración térmica de la biomasa vegetal en ausencia de oxígeno (Klug, 2012).

Pretratamiento termoquímico. Es la combinación de dos procedimientos, donde se utiliza temperatura y sustancias químicas a fin de generar un desdoblamiento de los componentes lignocelulosas de biomasa vegetal (Chen *et al.*, 2010).

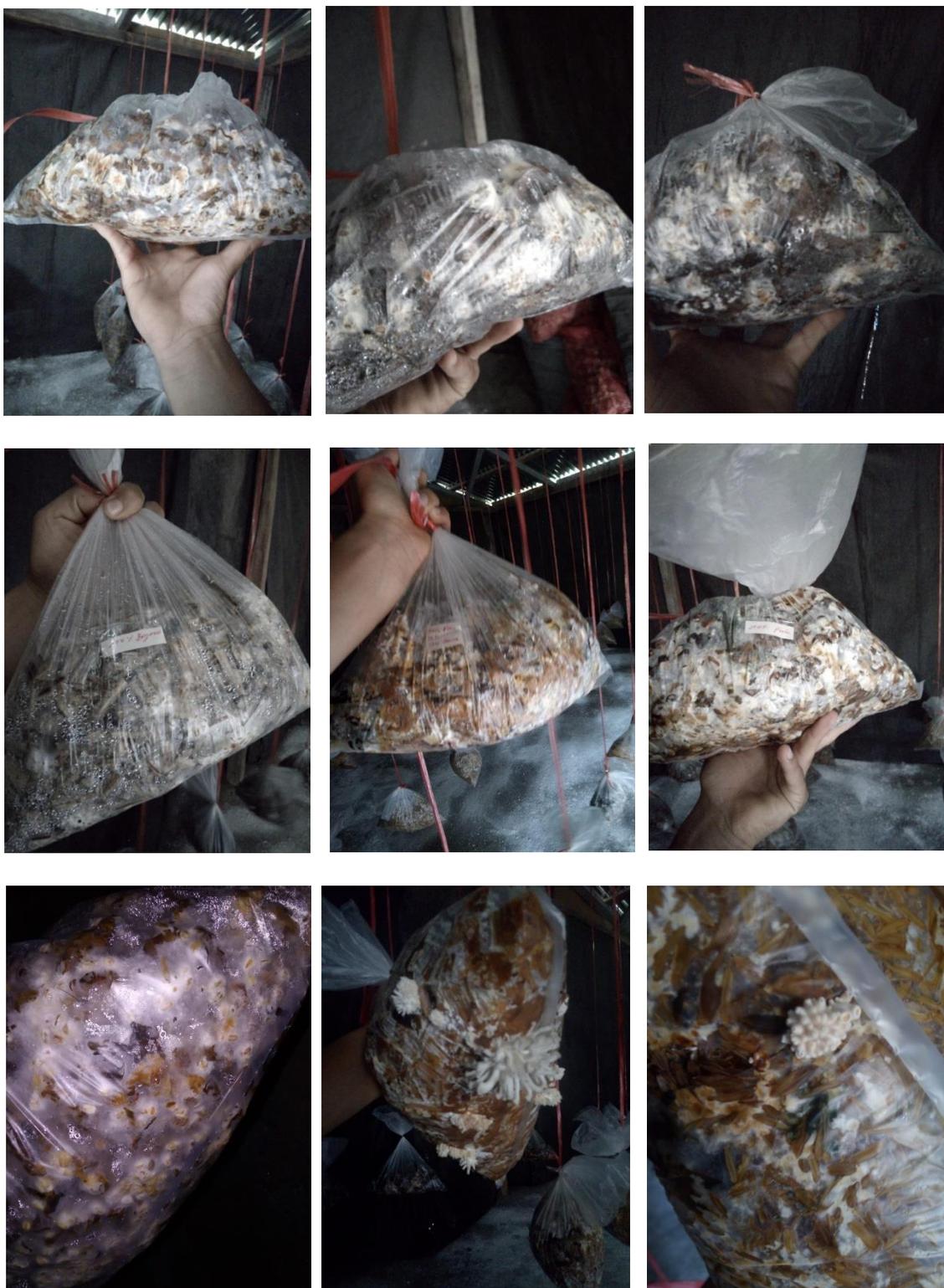
Sustrato. Es la materia prima sólida diferente al suelo de origen orgánico e inorgánico, que es producto de intervención mecánica, biológica o existen de manera natural, pueden usarse en conjunto o por separado para el crecimiento de las plantas (Urrestarazu, 2000).

APÉNDICES

Apéndice 1. Acondicionamiento de residuos experimentales en área de cultivo



Apéndice 2. Avance de invasión micelial y aparición de carpóforos de hongos *Pleurotus ostreatus* en los residuos experimentales



Apéndice 3. Monitoreo de unidades experimentales en el área experimental por parte de los tesisistas



Apéndice 4. Obtención de muestras con residuos no biodegradados para ser llevados a laboratorio



Apéndice 5. Acondicionamiento de sustratos gruesos no biodegradados en molino eléctrico para ser sometidos a calcinación



Apéndice 6. Obtención de cenizas de residuos de sustratos biodegradados y no biodegradados sometidos a calcinación



Apéndice 7. Valores del tiempo de colonización micelial de hongos *Pleurotus ostreatus* por repetición y tratamiento en residuos lignocelulósicos experimentales

Repeticiones	Tratamientos													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
R1	28	24	28	25	24	26	26	26	27	25	23	25	25	26
R2	28	26	27	23	25	26	25	26	27	25	24	26	25	25
R3	27	25	27	23	24	25	24	24	26	24	24	25	24	26
R4	26	24	26	24	24	26	25	25	26	25	23	26	25	26
Promedios	27,3	24,8	27,0	23,8	24,3	25,8	25,0	25,3	26,5	24,8	23,5	25,5	24,8	25,8
Desv. Stand.	1,0	1,0	0,8	1,0	0,5	0,5	0,8	1,0	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5

Fuente: Elaboración propia

Apéndice 8. Valores de los tiempos de biodegradación por repetición y tratamiento en los residuos lignocelulósicos mediante acción de los hongos *Pleurotus ostreatus*

Repeticiones	Tratamientos													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
R1	52	69	75	65	65	55	60	58	62	63	62	60	62	63
R2	53	70	74	66	64	55	61	57	61	64	63	61	63	63
R3	54	68	75	67	64	56	60	58	61	64	63	60	63	63
R4	49	70	76	66	65	57	61	58	62	63	63	61	62	64
Promedios	52,0	69,3	75,0	66,0	64,5	55,8	60,5	57,8	61,5	63,5	62,8	60,5	62,5	63,3
Desv. Stand.	2,2	1,0	0,8	0,8	0,6	1,0	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 9. Resultados de los porcentajes de bioconversión de hongos *Pleurotus ostreatus* por acción de los residuos lignocelulósicos experimentales

Repeticiones	Tratamientos													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
R1	8,0	56,6	14,0	88,6	40,7	32,0	32,9	28,2	27,9	38,6	55,5	45,0	36,8	58,0
R2	7,9	55,3	13,4	89,0	42,9	32,5	33,6	27,5	28,9	39,1	54,0	43,5	35,5	57,9
R3	7,5	54,8	12,6	88,2	41,5	31,9	33,4	28	28,0	38,6	55,0	44,0	36,0	56,6
R4	8,1	56,1	14,8	88,9	42,9	32,8	33,0	27	27,8	39,1	56,0	43,2	35,3	58,1
Promedios	7,9	55,7	13,7	88,7	42,0	32,3	33,2	27,7	28,2	38,9	55,1	43,9	35,9	57,7
Desv. Stand.	0,26	0,80	0,93	0,36	1,09	0,42	0,33	0,54	0,51	0,29	0,85	0,79	0,67	0,70

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 10. Cuantificación de la biodegradación de masa lignocelulosa entre el inicio y el final de los tratamientos experimentales empleando hongos *Pleurotus ostreatus*

Simb.	Tratamientos	Peso de sustratos testigos (g)	Ceniza promedio (g)	Peso de sustrato biodegradado (g)	Ceniza promedio (g)	Porcentaje de biodegradación
T1	Cascarilla de arroz 100 %	5,0	4,3	5,0	3,9	9,3
T2	Bagazo de caña 100 %	5,0	3,9	5,0	2,3	41,0
T3	Tuza de maíz 100 %	5,0	4,2	5,0	3,7	11,9
T4	Panca de maíz 100 %	5,0	4,1	5,0	2,1	48,8
T5	Cáscara de piña 100 %	5,0	3,6	5,0	3,1	13,9
T6	Cáscara de coco 100 %	5,0	3,7	5,0	2,8	24,3
T7	Cascaría de arroz 50 % + bagazo de caña 50 %	5,0	3,8	5,0	3,3	13,2
T8	Cascaría de arroz 50 % + cáscara de piña 50 %	5,0	4,1	5,0	3,7	9,8
T9	Cascarilla de arroz 50 % + bagazo de caña 25 % + tuza de maíz 25 %	5,0	3,9	5,0	3,5	10,3
T10	Bagazo de caña 50 % + cascaría de arroz 25%+ panca de maíz 25 %	5,0	3,5	5,0	2,9	17,1
T11	Cáscara de piña 50 % + cáscara de coco 25 % + panca de maíz 25 %	5,0	3,6	5,0	2,6	27,8
T12	Cáscara de coco 50 % + cáscara de pina 25 % + bagazo de caña 25 %	5,0	3,5	5,0	2,6	25,7
T13	Panca de maíz 50 % + cascaría de arroz 25 % + cáscara de piña 25 %	5,0	4,1	5,0	3,73	9,0
T14	Cascarilla de arroz 16,67 % + bagazo de caña 16,67 % + tuza de maíz 16,67 % + panza de maíz 16,67 % + cascara de piña 16,67 % + cascara de coco 16,67 %	5,0	3,6	5,0	2,1	41,7

Fuente: Elaboración propia