

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**



**EFECTO DE LOS SUSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS EN LA PRODUCCIÓN
ARTESANAL DEL HONGO COMESTIBLE *Lentinula edodes* (Shiitake) EN TINGO
MARÍA**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PRESENTADO POR:

PAMELA MARGARITA TUESTA BLAS

Tingo María - Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 060-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 08 de mayo de 2025, a horas 7:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DE LOS SUSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS EN LA PRODUCCIÓN
ARTESANAL DEL HONGO COMESTIBLE *Lentinula edodes* (Shiitake) EN TINGO
MARÍA”**

Presentado por la Bachiller: **TUESTA BLAS, PAMELA MARGARITA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“EXCELENTE”**.

En consecuencia, la sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 19 de mayo de 2025

Dr. YTAVCLERH VARGAS CLEMENTE
PRESIDENTE

Dr. CESAR SAMUEL LOPEZ LOPEZ
MIEMBRO

Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO

Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO
ASESOR





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 156 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LOS SUSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS EN LA PRODUCCIÓN ARTESANAL DEL HONGO COMESTIBLE Lentinula edodes (Shiitake) EN TINGO MARÍA	PAMELA MARGARITA TUESTA BLAS	22 % Veintidós

Tingo María, 28 de mayo de 2025



Dr. Tomas Menacho Mallqui
Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES



EFECTO DE LOS SUSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS EN LA PRODUCCIÓN
ARTESANAL DEL HONGO COMESTIBLE *Lentinula edodes* (Shiitake) EN TINGO
MARÍA

Autor	: TUESTA BLAS, Pamela Margarita
Asesor	: Dr. RUIZ RENGIFO, Ladislao
Objetivo general	: Determinar el efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible <i>Lentinula edodes</i> (Shiitake) en Tingo María
Programa de investigación	: Valoración de la biodiversidad y recursos naturales.
Línea de investigación	: Manejo, conservación de la biodiversidad y recursos naturales.
Eje temático de investigación	: Micología
Lugar de ejecución	: Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María
Duración	: Siete meses
Financiamiento	: Propio (Si) FEDU (No) Eterno (No)
Presupuesto	: 4 051,85 soles

Tingo María – Perú

Abril, 2025



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

I. Datos generales

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela Profesional : Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
Título de la Tesis : Efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible *Lentinula edodes* (Shiitake) en Tingo María
Objetivo general : Determinar el efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible *Lentinula edodes* en Tingo María.
Autor de la tesis : Pamela Margarita Tuesta Blas
DNI : 72897607
Correo electrónico : pamela.tuesta@unas.edu.pe
Asesor de la Tesis : Dr. Ladislao Ruiz Rengifo
Área de investigación : Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
Grupo de investigación : Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales
Línea de investigación : Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales
Lugar de ejecución : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Fecha de inicio : 22 de mayo del 2023
Fecha de término : 22 de diciembre del 2023
Presupuesto : S/ 4 051,85
Financiamiento : Propio (x) FEDU () Externo ()

Tingo María, Perú, mayo 2025

Pamela Margarita Tuesta Blas
Tesista

Dr. Ladislao Ruiz Rengifo
Asesor

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la fortaleza para seguir adelante en los momentos difíciles y por iluminar mi camino.

A mi madre:

Rebeca Blas Jaimes. La persona que me ha dado todo sin pedirme nada a cambio, tu amor y tu fuerza han sido mi guía a lo largo de todo este camino.

A mi padre:

Otto Tuesta Reategui. Por su guía, su sacrificio, su amor incondicional y por ser mi pilar para seguir adelante.

A mis abuelitos (as):

Hegel Roberto Céspedes Revelo y Aquilina Jaimes Meza

A mis hermanos (as):

Karina Noblejas Blas, Segundo Iván Oré Villanueva

A mis sobrinos (as):

Nicole Nataly Jara Noblejas, Adrián Antonio Jara Noblejas

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por ser el lugar donde pude forjar mi futuro.
- A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes no solo me han enseñado contenidos académicos adquiridos durante sus años de experiencia, sino también valiosas lecciones de vida.
- Al Dr. RUIZ RENGIFO, Ladislao, asesor de tesis, por su constante apoyo, paciencia y orientación a lo largo de este proceso.
- A la Ing. SANDOVAL ROJAS, Koyli Karina, por su valiosa ayuda durante todo el proceso de laboratorio de esta tesis.
- A toda mi familia, por su apoyo constante y ser mi mayor fuente de motivación.
- A todas las personas que han sido parte fundamental de este proceso y que han hecho posible la culminación de esta tesis.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general:.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Marco teórico.....	4
2.1.1. Aspectos generales de los hongos comestibles	4
2.1.2. El hongo comestible <i>L. edodes</i>	5
2.1.3. Usos del recurso genético	8
2.1.4. Técnicas de cultivo	9
2.1.5. Sustratos.....	11
2.1.6. Infestación y rendimiento	12
2.1.7. Tasa de biodegradación.....	13
2.2. Estado del arte.....	14
2.2.1. Nacionales.....	14
2.2.2. Internacionales	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Lugar de ejecución.....	20
3.1.1. Ubicación política	20
3.1.2. Ubicación geográfica	20
3.1.3. Ecología	20
3.1.4. Clima.....	20
3.2. Materiales y métodos	22
3.1.1. Materiales y equipos	22
3.1.2. Metodología	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1. Tasa de biodegradación del hongo comestible <i>L. edodes</i> sobre los sustratos lignocelulósicos	30
4.2. Eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento, tamaño, número de cosechas y periodo de producción artesanal del hongo comestible <i>L.</i> <i>edodes</i> sembrados en diferentes sustratos.....	32
4.2.1. Eficiencia biológica (EB).....	32

4.2.2. Tasa de producción (TP).....	35
4.2.3. Rendimiento (R).....	38
4.2.4. Tamaño del píleo.....	41
4.2.5. Cosechas	45
4.2.6. Periodo de producción o ciclo de cultivo.....	51
4.3. Humedad, grasa, proteína y carbohidratos del hongo comestible <i>L. edodes</i> producidos artesanalmente con diferentes sustratos.....	57
4.3.1. Humedad	57
4.3.2. Grasa	60
4.3.3. Proteína	62
4.3.4. Carbohidratos.....	65
4.4. Valor energético del hongo comestible <i>L. edodes</i> producidos artesanalmente con diferentes sustratos.....	67
V. CONCLUSIONES	71
VI. PROPUESTAS A FUTURO	72
VII. REFERENCIAS	73
Anexo	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Formulaciones (%) de los diferentes tratamientos.	16
2. Descripción de los sustratos o tratamientos en estudio.	23
3. Esquema del análisis de la varianza para un DCA.	29
4. Estadígrafos para la tasa de biodegradación (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	30
5. Análisis de varianza para la tasa de biodegradación (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	31
6. Prueba Tuckey para la tasa de biodegradación (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	32
7. Estadígrafos para la eficiencia biológica (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	33
8. Análisis de varianza para la eficiencia biológica (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	34
9. Prueba Tuckey para la eficiencia biológica (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	35
10. Estadígrafos para la tasa de producción (%/día) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	36
11. Análisis de varianza para la tasa de producción (%/día) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	37
12. Prueba Tuckey para la tasa de producción (%/día) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	38
13. Estadígrafos para el rendimiento (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	39
14. Análisis de varianza para el rendimiento (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	40
15. Prueba Tuckey para el rendimiento (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	41
16. Estadígrafos para el diámetro del píleo (cm) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	42

17.	Análisis de varianza para el diámetro del píleo (cm) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	43
18.	Prueba Tuckey para el diámetro del píleo (cm) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	44
19.	Estadígrafos para el número de cosechas del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	46
20.	Análisis de varianza para el número de cosechas del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	47
21.	Prueba Tuckey para el número de cosechas del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	47
22.	Estadígrafos para el número de frutos por bolsa del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	49
23.	Análisis de varianza para el número de frutos por bolsa del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	50
24.	Prueba Tuckey para el número de frutos por bolsa del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	51
25.	Estadígrafos para el inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	52
26.	Análisis de varianza para el inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	53
27.	Prueba Tuckey para el inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	54
28.	Estadígrafos para el ciclo del cultivo (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	55
29.	Análisis de varianza para el ciclo del cultivo (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	56
30.	Prueba Tuckey para el ciclo del cultivo (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	57
31.	Estadígrafos para la humedad (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	58
32.	Análisis de varianza para la humedad (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	59
33.	Prueba Tuckey para la humedad (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	59

34.	Estadígrafos para la grasa (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	60
35.	Análisis de varianza para la grasa (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	61
36.	Estadígrafos para la proteína (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	63
37.	Análisis de varianza para la proteína (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	64
38.	Prueba Tukey para la proteína (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	64
39.	Estadígrafos para los carbohidratos (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	65
40.	Análisis de varianza para los carbohidratos (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	66
41.	Prueba Tuckey para los carbohidratos (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	67
42.	Estadígrafos para el valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	68
43.	Análisis de varianza para el valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	69
44.	Prueba Tukey para el valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	70
45.	Base de datos de la tasa de biodegradación del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.....	81
46.	Base de datos de la eficiencia biológica, tasa de producción y ciclo del cultivo del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	82
47.	Base de datos del diámetro medio del píleo, número de cosechas y número de frutos por bolsa del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	83
48.	Base de datos de la humedad, proteína, grasa, carbohidratos y valor energético del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	84
49.	Temperatura y humedad registrados para las condiciones del experimento.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Comportamiento de la temperatura durante la producción del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	21
2. Comportamiento de la humedad durante la producción del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	21
3. Distribución de los tratamientos en estudio.....	25
4. Tasa de biodegradación (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	31
5. Eficiencia biológica (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	34
6. Tasa de producción (%/día) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	36
7. Rendimiento (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	39
8. Diámetro del píleo (cm) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	42
9. Frecuencia de los grupos para el diámetro del píleo (cm) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	44
10. Número de cosechas del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	46
11. Frecuencia para el número de cosechas del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	48
12. Número de frutos por bolsa del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	50
13. Inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	53
14. Ciclo del cultivo (días) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	55
15. Humedad (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	58

16.	Grasa (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	61
17.	Proteína (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	63
18.	Carbohidratos (%) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	66
19.	Valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible <i>L. edodes</i> en los sustratos lignocelulósicos.	68
20.	Aislamiento del micelio en placas Petri con medio de cultivo PDA.	90
21.	Oreado de los granos de cebada después de precocción.	90
22.	Esterilización de los granos de cebada.	91
23.	Inoculación del micelio en los granos de cebada.	91
24.	Secado del bagazo de caña después de ser lavado para luego pasar a su descomposición por siete días.	92
25.	Sustrato humedecido y volteado todos los días para su proceso de descomposición.	92
26.	Sustrato cubierto con plástico negro por dentro para que ayude a su proceso de descomposición.	93
27.	Colocación de bolsas con sustrato para la pasteurización.	93
28.	Proceso de pasteurización de los sustratos.	94
29.	Inoculación de las semillas de <i>L. edodes</i> en el sustrato.	94
30.	Observación de la corrida de los micelios de <i>L. edodes</i> en los sustratos.	95
31.	Micelio de <i>L. edodes</i> cubriendo casi la totalidad de los sustratos.	95
32.	Medición de la temperatura y humedad en el ambiente de producción.	96
33.	Registro de la temperatura y humedad en el ambiente de producción.	96
34.	Bolsas con sustratos puesto a luz para el periodo de fructificación de <i>L. edodes</i>	97
35.	Presencia de ampollas o popcornig de <i>L. edodes</i>	97
36.	Presencia de frutos de <i>L. edodes</i> en el sustrato de aserrín de cajonería.	98
37.	Presencia de frutos de <i>L. edodes</i> en el sustrato de aserrín de bolaina.	98
38.	Presencia de frutos de <i>L. edodes</i> listos para la cosecha.	99
39.	Medición del píleo de <i>L. edodes</i> con ayuda del vernier.	99
40.	Ambiente acondicionado para el cultivo del hongo <i>L. edodes</i>	100

41. Lugar de ejecución de los ambientes donde se ejecutó la tesis en <i>L. edodes</i>	101
---	-----

RESUMEN

En el estudio se consideró como objetivo determinar el efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible *Lentinula edodes* en Tingo María. Las actividades se distribuyeron en el ambiente del Laboratorio de Micología y Tecnología de la Propagación en la Universidad Nacional Agraria de la Selva y la Asociación de vivienda Los Laureles en el distrito de Castillo Grande, ambos lugares pertenecen a la provincia Leoncio Prado en el ámbito de la región Huánuco. Se utilizó como sustratos al aserrín de bolaina blanca (T₁), aserrín de cajonería (T₂) y bagazo de caña (T₃) distribuidos en 10 repeticiones cada una, siendo medidos la tasa de biodegradación (TB), eficiencia biológica (EB), tasa de producción (TP), rendimiento, tamaño de píleo (T), número de cosechas (C), el ciclo de cultivo (CC), contenido de humedad (H), grasas, carbohidratos, proteínas y el valor energético (VE) que se sometieron al análisis de la varianza. Entre los resultados se registró que el aserrín de bolaina blanca produjo hongos con mayor contenido de grasa (2,55%), carbohidratos (65,44%) y el valor energético (351,46 kcal/100 g); el aserrín de cajonería favoreció en la TB (65,60%), el contenido de H (6,04%) y de proteínas (28,35%); el bagazo de caña registró mayores valores en la EB (49,50%), TP (0,31%), rendimiento (8,08%), T (4,91 cm), C (2,30 cosechas) y CC (160,30 días). Se concluye que, se demostró la hipótesis sobre que el uso de sustratos lignocelulósicos afecta de manera significativa la producción de *L. edodes*.

Palabras clave: Aserrín, bagazo de caña, carbohidratos, proteínas y valor energético.

ABSTRACT

The study aimed to determine the effect of lignocellulosic substrates on the artisanal production of the edible mushroom *Lentinula edodes* in Tingo María. The activities took place in the environment of the Mycology and Propagation Technology Laboratory at the National Agrarian University of the Jungle and in the Los Laureles Housing Association in the district of Castillo Grande. Both locations are in the Leoncio Prado province within the Huánuco region. The substrates used were sawdust from *bolaina blanca* (T1), cabinetmaking sawdust (T2), and sugarcane bagasse (T3), each distributed in 10 replications. The following variables were measured: biodegradation rate (BR), biological efficiency (BE), production rate (PR), yield, pileus size (P), number of harvests (H), cultivation cycle (CC), moisture content (M), fat, carbohydrates, proteins, and energy value (EV). These were subjected to analysis of variance. Among the results, *bolaina blanca* sawdust produced mushrooms with higher fat content (2.55%), carbohydrates (65.44%), and energy value (351.46 kcal/100 g); cabinetmaking sawdust favored BR (65.60%), moisture content (6.04%), and protein content (28.35%); sugarcane bagasse showed the highest values for BE (49.50%), PR (0.31%), yield (8.08%), P (4.91 cm), H (2.30 harvests), and CC (160.30 days). It was concluded that the hypothesis was confirmed: the use of lignocellulosic substrates significantly affects the production of *L. edodes*.

Keywords: Sawdust, sugarcane bagasse, carbohydrates, proteins, and energy value.

I. INTRODUCCIÓN

Con una población mundial en crecimiento, la disminución de la tierra cultivable, la rápida urbanización e industrialización, el cambio climático y la necesidad de alimentos funcionales y de alta calidad, será necesario centrarse en nuevos cultivos o masificar algunos cultivos saludables y que de manera paralela puedan beneficiar al ambiente mediante la poca generación de residuos.

Actualmente la creciente población mundial se enfrenta a la escasez de alimentos, al aumento de los precios, las nuevas enfermedades y finalmente la sobreexplotación del capital natural y la contaminación. En este caso los hongos ofrecen una solución a casi todos los problemas de la humanidad si se analizan de manera exhaustiva en busca de su potencial y propiedades. Su popularidad se deriva de tres características altamente deseables: como alimento; son nutritivos y se puede procesar.

Gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas, el cultivo de hongos comestibles ha ganado popularidad a nivel mundial, ya que pueden cultivarse en diferentes climas y sobre desechos agrícolas e industriales. El hongo Shiitake se ha convertido en la especie más cultivada en todo el mundo con aproximadamente el 22% del total, lo que equivale a $7,48 \times 10^6$ toneladas y ha desplazado ya a la conocida especie *Agaricus bisporus* (champiñón), que durante varias décadas ocupó el primer lugar de producción a nivel mundial y que ha sido relegado a la cuarta posición con el 15% del total (Mata et al., 2020).

En los últimos años, el cultivo de hongos *Lentinula edodes* (Shiitake) se ha incrementado mediante el uso de bloques artificiales hechos de aserrín y/o residuos agrícolas complementados con fuentes de carbono y nitrógeno. Esto ofrece importantes ventajas sobre la producción de troncos naturales, ya que la producción aumenta y es continua durante todo el año, y los tiempos de cosecha se acortan (Royse et al., 1990).

El cultivo de *L. edodes* podría ser un sector accesible para nuestra futura agricultura y silvicultura sostenible; sin embargo, en nuestra región amazónica y específicamente en la zona de Tingo María se cuentan pocos estudios referidos a este espécimen introducido como el *L. edodes*, además se le suma la baja percepción poblacional para consumir los hongos que muchas veces es por desconocimiento de la existencia u otras personas que consideran que es costoso su adquisición para consumirlos.

Contamos con muchos subproductos que derivan directa o indirectamente de la agricultura potencialmente valiosos, tales como rastrojo de arroz, aserrín de madera blanda

como la bolaina blanca y aserrín de cajonería, bagazo de caña de azúcar, fibra de coco, entre otros; que muy bien se podrían aprovechar como sustratos para la producción de *Lentinula edodes* (shiitake) mediante formulación artificial.

Es así como el presente proyecto identifica como problemática la inadecuada gestión para el aprovechamiento de los residuos agrícolas y forestales tales como el bagazo de caña, aserrín de madera de baja densidad básica y aserrín de cajonería. Asimismo, plantea brindar una alternativa de solución a dicho conflicto. Todo ello con el fin de emprender una actividad que cumpla con el enfoque de desarrollo sostenible, frente a lo expuesto se considera como interrogante: ¿Cuál será el efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible *L. edodes* en Tingo María?

Tener información de este hongo ayudará a que otras personas puedan cultivar y beneficiarse de los atributos medicinales y alimenticias que tanto necesita la población de la ciudad de Tingo María. Los resultados a obtener en el presente estudio servirán como fuente de información para que otros profesionales o personas que tengan pasión por los hongos comestibles puedan fortalecer sus conocimientos y opten por masificar su cultivo ya que posee ventajas económicas porque utiliza de residuos agrícolas y forestales (Campbell y Racjan, 1999), además será un ingrediente adicional en el listado de productos alimenticios que puede mermar la desnutrición de los niños que viven en zonas urbanas y rurales.

La hipótesis radica en que el uso de los diferentes sustratos lignocelulósicos tiene efecto diferente en la producción artesanal del hongo comestible *L. edodes* en Tingo María, con la cual se estará contribuyendo al desarrollo sostenible. Ante lo expresado en los párrafos anteriores, se consideró como objetivos lo siguiente:

1.1. Objetivo general:

Determinar el efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible *Lentinula edodes* en Tingo María.

Objetivos específicos:

- Determinar la tasa de biodegradación del hongo comestible *L. edodes* sobre los sustratos lignocelulósicos.
- Determinar la eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento, tamaño, número de cosechas y periodo de producción artesanal del hongo comestible *L. edodes* sembrados en diferentes sustratos.
- Determinar la humedad, grasa, proteína y carbohidratos del hongo comestible *L. edodes* producidos artesanalmente con diferentes sustratos.

- Determinar el valor energético del hongo comestible *L. edodes* producidos artesanalmente con diferentes sustratos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Aspectos generales de los hongos comestibles

La ciencia que estudia los hongos es la Micología, el término hongo viene del latín *fungus*, que significa seta y del griego *sphongos* que significa esponja. Estudios han demostrado que los hongos son el grupo de organismos más numeroso en la Tierra después de los insectos (Boa, 2005).

El reino Fungi, un grupo especial de la biodiversidad, considerada como una de las más abundantes en la naturaleza después de los insectos; son organismos que tienen mucha importancia desde el punto de vista ecológica, socioeconómica y nutricional. En base a la biodiversidad vegetal mundial, se señalan la existencia de 2.2 y 3.8 millones de especies de hongos que se sustentan en nuevas evidencias que proviene de extrapolaciones de proporciones planta-hongo, además, ahora se está generando información de estudios de secuencia medio ambiental incluidas comparaciones de datos moleculares y de trabajos de campo de los mismos lugares (Hawksworth & Lücking, 2017). los hongos son los organismos más pobremente estudiados, actualmente, es una ciencia que va tomando mucho interés por la comunidad científica y es un potencial que muy bien podría orientarse su estudio a mejorar el bienestar de la humanidad.

Los hongos junto con las bacterias heterótrofas y un reducido grupo de otros organismos, constituyen los descomponedores de la biósfera, y su actividad es esencial para el continuo funcionamiento de la naturaleza. La descomposición libera dióxido de carbono (CO₂) y aporta compuestos nitrogenados y otros minerales al suelo, en donde ellos pueden ser nuevamente utilizados por las plantas y eventualmente por los animales (Silva et al., 2010).

2.1.1.1. Características distintivas de los hongos comestibles

Los hongos son uno de los cinco reinos que componen el dominio eucariota en el sistema de clasificación científica de los organismos vivos (Carlile et al., 2001).

Los hongos son clasificados en el reino Fungi. La parte del hongo que se ve es solamente el “fruto” del organismo. La parte viviente del hongo es un micelio constituido por un tejido de filamentos delgados llamados hifas. El micelio está oculto debajo del suelo, en madera, o en otras fuentes de alimento. Estos tejidos crecen hasta que

aparecen los cuerpos fructíferos. Si el micelio produjera frutos microscópicos, la gente quizás nunca se fijaría en el hongo. Los hongos se alimentan absorbiendo nutrimentos del material orgánico en que viven, por lo que estos secretan ácidos y enzimas que simplifican el material orgánico en partículas más fáciles de digerir y luego atraviesan la pared celular de la hifa (Fogel, 1997).

Las setas son un subconjunto de los macrohongos que son comestibles para el ser humano. Lo que los consumidores reconocen comúnmente como una seta es en realidad el cuerpo fructífero del organismo, y su responsabilidad es dispersar las esporas que propagarán la especie. El propio cuerpo fructífero es un conjunto de delgadas líneas de células conocidas como hifas que se reúnen rápidamente y se elevan sobre del suelo cuando el organismo intenta reproducirse. Normalmente, estas hifas crecen bajo tierra en una gran masa enmarañada conocida como micelio. Aunque el cuerpo fructífero es lo que los consumidores reconocen como una seta, su nutrición depende totalmente de una extensa red de micelios que penetran en el medio de crecimiento (Carlile et al., 2001).

La red de micelios inicia a partir de una sola spora. Cuando la spora germina, emerge de ella una única hifa, luego al desarrollarse, pueden crecer ramas que, a su vez, pueden crecer sus propias ramas. De este modo, pronto puede crecer una amplia red de micelios para sostener el organismo. El patrón de crecimiento de los micelios es único en los hongos; presentan un crecimiento apical. Es decir, crecen sólo en el extremo de la hifa individual, y es este método de crecimiento el que les permite penetrar y utilizar prácticamente cualquier sustrato (Carlile et al., 2001). Cuando los micelios empiezan a agotar los nutrientes del sustrato, forman un cuerpo fructífero para empezar de nuevo el ciclo (Gow y Gadd, 1995).

2.1.2. El hongo comestible *L. edodes*

Su nombre científico describe en latín a su forma de lente y "*edodes*" por ser comestible, es un hongo descomponedor de madera, típicamente saprófito, generalmente crece en troncos de árboles caídos del Japón, China y otros países asiáticos (Stamets y Chilton, 1983). El nombre Shiitake es un vocablo japonés que se deriva de dos palabras: "shii", árbol en que crece esta especie (*Catanopsis cuspidata*), y "take" que significa hongo. Como todos los hongos superiores, *L. edodes* está formado por un conjunto de filamentos conocidos como hifas, las cuales forman el verdadero cuerpo del hongo, denominado micelio y la parte comestible del mismo (llamado popularmente hongo) es en realidad el cuerpo reproductor en donde se producen las esporas a través de las cuales el hongo se dispersa y reproduce (Mata et al., 2020).

Este hongo está entre los hongos más populares gastronómicamente y ocupa el segundo lugar en la producción mundial de hongos comestibles (Chang, 1989). *L. edodes* es capaz de degradar la celulosa, las hemicelulosas y las ligninas. Al cultivarlo sobre materiales como paja, tusas de maíz y troncos de cáñamo es posible obtener rendimientos equivalentes o superiores a los encontrados en troncos naturales (Delpech, 1990).

2.1.2.1. Historia

El primer registro escrito de *L. edodes* se encontró plasmado en documentos históricos en Japón cuando el emperador Chuai en 199 D.C. elogió a nativos Kyushu por ofrecerle hongos *L. edodes* recogidos del medio silvestre (San Antonio, 1981).

Históricamente el señor Wu San Kwung fue conocido como el que originó el cultivo del hongo *Lentinus*. Él nació durante la dinastía Sung (960 - 1127) en Lung - Shyr, una villa de Lung - Chyuan al suroeste de Chekiang; condado nombrado oficialmente en 1994 como “la ciudad del hongo *Lentinus*” (Chang y Miles, 1989).

Luego, los científicos chinos Chang y Miles (1989), manifiestan que el investigador Wang Cheng registra las conocidas técnicas de crecimiento del hongo *L. edodes* en el año 1313, describiendo cómo seleccionar el lugar adecuado para escoger y cortar apropiadamente los árboles a ser sembrados, con estos métodos básicos del cultivo se estimulaba la producción de hongos.

Entre 1500 y 1600 D.C, agricultores chinos introducen estas técnicas de cultivo al Japón, siendo desde entonces los japoneses los líderes en el desarrollo de técnicas para el cultivo de *L. edodes* en troncos (Chang, 1987).

Después, en 1933 se registra por primera vez un cultivo de *L. edodes* en bloques de madera sometidos a tratamiento térmico (Chang y Miles, 1989). En 1935, los bloques de aserrín sólo eran medios de prueba de micelio de *L. edodes* para mejorar sus características genéticas (Ito, 1978).

A pesar de la historia, el cultivo comercial de *L. edodes* en aserrín u otros materiales que contienen celulosa sigue creciendo en el mundo entero, así como las técnicas de cultivo, un claro ejemplo es el método desarrollado por cultivadores holandeses, quienes pasteurizan el sustrato de *L. edodes* en camas como las setas de botón blanco (*Agaricus*), por esta razón no existe un método ideal de cultivo sino más bien una gran variedad de métodos desarrollados en diferentes limitaciones (Lou, 1981).

2.1.2.2. Clasificación

Miles y Chang (1997) determinan la taxonomía del hongo *L. edodes* de la siguiente manera:

Reino : Fungi
 Filo : Basidomicetos
 Subfilo : Agaricomycotina
 Clase : Agaricomycetes
 Subclase : Agaricomycetidae
 Orden : Agaricales
 Familia : Marasmiaceae
 Género : Lentinula
 Especie : *L. edodes* (Berk.) Pegler

2.1.2.3. Descripción de *L. edodes*

Los hongos tienen sombreros entre 5,0 a 25,0 cm de diámetros, hemiesféricos, convexos y eventualmente, planos en la madurez. Al inicio de su desarrollo los sombreros son de color marrón oscuro hasta casi negro, y posteriormente se tornan de coloración marrón más clara, debida a la edad o al secado del hongo (Stamets, 1993).

Hongo saprófito y solo crece en tejidos necrosados de árboles de madera dura y hoja ancha. Su espora es blanca de 5,0 a 6,5 μm x 3,0 a 3,5 μm , forma ovoide a oblongo-elipsoide. Los basidios soportan cuatro esporas. En agar nutritivo el micelio es blanco al principio y luego se torna marrón oscuro, tomando apariencia algodonosa (Stamets, 1993).

2.1.2.4. Ciclo de vida

En su hábitat natural, el micelio de *L. edodes* se desarrolla en troncos en descomposición de donde obtiene los nutrientes necesarios para su crecimiento y reproducción. El micelio produce una importante cantidad de enzimas que descomponen la madera y le facilitan al hongo absorber los nutrientes para asegurar su supervivencia. Cuando las condiciones climáticas son adecuadas, principalmente humedad y temperatura, el micelio moviliza los nutrientes almacenados y forma lo que comúnmente llamamos hongos (basidiomas o cuerpos fructíferos) (Mata et al., 2020).

En los basidiomas, se formarán las esporas que serán dispersadas por el viento con la finalidad de encontrar nuevos sitios para colonizar y reproducir la especie. Un solo basidioma puede producir millones de esporas, la mayoría de ellas perecerán por efecto de la temperatura y la luz (Mata et al., 2020).

2.1.2.5. Morfología

Las principales partes que componen un hongo macromiceto son:

Sombrero o píleo. Es la parte superior y más carnosa del hongo, puede tener varias formas: redondeada, plana e incluso ahuecada hacia el interior como un embudo. Sus bordes pueden ser lisos o festoneados, con la cutícula (piel que cubre el sombrero) levantada o agrietada e incluso con placas o verrugas en la parte superior (Toharia, 1985).

Himenio. Parte fértil o reproductora del hongo, que contiene esporas y se encuentra debajo del sombrero. La estructura más común es en forma de laminillas, aunque también puede presentarse como tubos, arrugas o venosidades, o agujas (Toharia, 1985). Para Stamets (1993) dentro del contenido nutricional se encuentra la proteína entre un 13% a 18%, el niacina en 55 mg/100 g, la tiamina en 7,8 mg/100 g, la riboflavina en 5,0 mg/100 g, las cenizas entre 3,5% a 6,5%, la fibra de 6% a 15% y la grasa entre 2% a 5%.

Pie o estípite. Parte del hongo que soporta el sombrero, y puede tener diversas formas: grueso, fino, corto, abombado, retorcido, excéntrico, estas características son las que permiten clasificar las especies de hongos (Toharia, 1985).

Anillo o velo. Parte encargada de proteger el himenio cuando el hongo esta joven y puede ser doble, sencillo y caído (Toharia, 1985).

Volva. Es el resto del velo que cubre originariamente a algunas especies al momento de fructificar, que posteriormente puede quedarse encima del sombrero (como verruguitas), en el borde (como cortina), en el pie (como anillo) y en la base del pie (como volva) (Toharia, 1985).

Micelio. El Micelio es el conjunto de filamentos microscópicamente delgados, en forma de hilos llamados hifas. Las hifas pueden presentar septos, si los tabiques están ausentes se habla de micelio continuo (Toharia, 1985).

2.1.3. Usos del recurso genético

El hongo *L. edodes* es el hongo especializado más cultivado en el mundo, es una medicina preciada y una delicia culinaria. En Japón, *L. edodes* es una de las fuentes más populares de proteínas, mientras que es un alimento básico importante en China y otras partes de la Cuenca del Pacífico. Al ser apetitoso, nutritivo, dietético y saludable, *L. edodes* es una fuente de alimento muy valiosa, tiene cualidades nutricionales adecuadas para servir como plato principal, y se adapta bien a las recetas como sustituto de la carne (Ciesla, 2002).

En la medicina oriental *L. edodes* es considerado un alimento que activa la sangre. Es utilizado para tratar problemas de salud tanto en niños como en adultos. En Japón, se utiliza para tratar enfermedades del corazón, úlceras, presión sanguínea, problemas de visión, alergias, hemorroides y neuralgias (Jones, 1995).

De *L. edodes* se obtienen dos extractos, el extracto Micelial y el Lentinan. Actualmente estas sustancias se utilizan en tratamientos médicos contra tumores en animales y humanos, mediante ingestión oral o por vía intravenosa (Hobbs, 1996).

De acuerdo Moreiras et al. (2014) el contenido nutricional de *L. edodes* (por 100 g de porción comestibles) oscila en 2,24 g de proteína, 0,49 g de lípidos y 34 kcal de energía.

La calidad del hongo determinada por el diámetro y peso del píleo para la comercialización de tipo exportación se considera hongos grandes de 6,0-8,0 cm de diámetro y mayor a 35 g, para hongos medianos de 4,0-6,0 cm de diámetro y 30-35 g y para hongos pequeños de 3,5-4,0 cm de diámetro y 25-30 g de peso; mientras los hongos con diámetro inferiores a 3,5 cm y 25 g de peso son para el mercado nacional (Ting, 1994).

2.1.4. Técnicas de cultivo

Para Rodríguez et al. (2006) el cultivo sobre troncos solo genera ingresos modestos; los métodos de cultivo en medios controlados permiten duplicar y hasta triplicar los carpóforos de cada bloque sintético, estos sistemas de producción usan bloques de un kilogramo de aserrín suplementados, que son inoculados en la parte superior y producen cerca de dos oleadas y con superiores masas de sustratos de dos a tres kilogramos se puede lograr hasta 4 cosechas.

2.1.4.1. Cultivo sobre troncos

Tradicionalmente, el hongo *L. edodes* ha sido cultivado en troncos recién cortados, por lo general de la familia de los robles; los árboles son talados durante el período de dormancia cuando su contenido de azúcar es alto; seguidamente dentro de uno o dos meses los troncos son inoculados con micelio puro activado, esta siembra consiste en introducir ó clavar pequeños trozos de madera o aserrín invadido el micelio de *L. edodes* en pequeños orificios que han sido hechos anteriormente con un taladro (Royse, 1985).

Después de la inoculación los troncos han de ser colocados uno sobre otro, creando así condiciones favorables para la colonización del micelio en madera. Una vez que los troncos están completamente invadidos de micelio, se los induce a fructificación regándolos por aspersión en forma periódica hasta iniciar el período de cosecha (San Antonio, 1981).

La corteza del árbol contiene alrededor 3,8% - 5,0% N y la xilema solo 0,4% - 0,5% N. Los minerales como fósforo, sulfuro, calcio, magnesio y potasio son utilizados en la formación de la célula, mejorando el metabolismo (Mushroom growers,

2005). Por otro lado, la estructura del aserrín de eucalipto subproducto de las labores de transformación de la madera está compuesta por: 27,99% lignina y 51,72% celulosa y 20,29% hemicelulosa (Leal, 2011).

2.1.4.2. Cultivo en bolsas o sustratos esterilizados

Es una mezcla de materiales que imitan el medio natural de reproducción de *L. edodes*, estos sustratos están compuestos por aserrín, aditivos suplementarios con contenidos de celulosa como los granos o el salvado de trigo y otras fuentes de hidratos de carbono y nitrógeno (Murata et al., 1987). La mezcla es esterilizada al calor, en frascos, para eliminar parásitos competidores por nutrientes; una vez fría la mezcla es inoculada con micelio de *L. edodes* e incubada por 30 a 180 días, cumplida la incubación los bloques han de ser sometidos a un choque térmico trasladando a una nevera, induciéndolos así, al proceso de fructificación (Iizuka y Takeuchi, 1978).

Parámetros de crecimiento

- Incubación

Comprende desde el mismo día de la incubación hasta que se evidencia la presencia de ampollas en las bolsas o “popcorning” y los primeros síntomas de coloración café (evidencian que el primordio está próximo a formarse). Lo cual su pH inicial es de 5,5-5,6, temperatura de incubación es 21-27 °C, humedad relativa de 95-100%, duración entre 25-35 días, concentración de CO₂ >10 000 ppm, intercambio de aire fresco de 0-1 volumen de aire/hora, requerimiento de luz entre 50-100 Lux pero antes de la fructificación puede descender a 35-45 Lux (Stamets y Chilton, 1983).

- Browning o formación de micoderma café

Este periodo se da una vez se halla colonizado todo el sustrato y metabolismo del interior del bloque haya comenzado a disminuir (se evidencia por la disminución de la temperatura del núcleo). Se caracteriza por la formación, al principio, de unas ampollas (popcornig) y posteriormente de una coloración café (micoderma café) que sirve de escudo protector del bloque para evitar la deshidratación. Esto se da a una temperatura de 10 – 21°C, humedad relativa >90%, su duración es de 20-30 días, concentración de CO₂ <1 000 ppm y requerimiento de luz de 50-100 Lux (Stamets y Chilton, 1983).

- Formación de primordios

Comprende desde el “popcorning” hasta la formación de los primeros primordios. Una vez se evidencie el popcornig, se realiza un choque térmico sumergiendo los bloques en agua a 5-16 °C durante 12 a 24 horas o reduciendo la temperatura

ambiental (destaparlos durante la noche) o enfriándolos a 4-8 °C durante 12-24 horas en nevera, pH inicial de 4,2-4,6, temperatura de iniciación de 10-16 °C para cepas de clima frío y 16-21°C para cepas de clima caliente, humedad relativa de 95-100%, concentración de CO₂ < 1000 ppm, intercambio de aire fresco entre 4/7 volumen de aire /hora y requerimiento de luz entre 500-2000 Lux (Stamets y Chilton, 1983). Asimismo, Rodríguez et al. (2006) indican que, a los 20-25 días los bloques comienzan a mostrar una topografía irregular con protuberancias, que son las precursoras de los primordios.

- Desarrollo del cuerpo fructífero y cosecha (Stamets y Chilton, 1983).

Temperatura:16-18 °C cepas de clima frío y 21-27 °C cepas de climas cálido, humedad relativa de 60-80%, duración entre 5-8días, concentración de CO₂ < 1000 ppm, intercambio de aire fresco de 4-8 volumen de aire/hora, requerimiento de luz entre 500-2000 Lux. Niveles de luz por debajo de 500 Lux causan elongación considerable del estípite de muchas cepas. La cosecha ocurre cada 2 a 3 semanas durante 8 a 12 semanas y muchas veces hasta 16 semanas.

- Inactivación de los bloques

Comprende desde el día en que se realiza la cosecha hasta cuando se forma una capa café de células muertas en el bloque. Temperatura: 21-25 °C, humedad relativa: 30-50%, duración entre 7-10 días (Stamets y Chilton, 1983).

2.1.5. Sustratos

Al cultivar el shiitake se observan mayor preferencia el uso de aserrín envejecido de los árboles cuya característica es que posean hojas anchas. Los aserrines frescos, que no se envejecieron mediante la fermentación, se pudieran utilizar al cultivar shiitake solamente si proceden de especies arbóreas de calidad alta como por ejemplo para el caso de los EEUU se citan al roble, "chinkapin" (*Castanopsis*), *Carpinus* sp. (carpe), *Liquidambar styraciflua* (ocozol), álamo, aliso, *Olneya tesota* (palo hacha), haya, abedul y sauce que son de hojas anchas, duras y no aromáticas. Los aserrines que provienen de especies arbóreas con más baja calidad tiene que envejecerse por medio de la fermentación.

Es recomendable seleccionar un recurso disponible y barato, siendo uno de los caos en Australia el uso del aserrín fermentado que proviene del eucalipto. Otros cultivadores tienen preferencia de utilizar aserrín envejecido sin considerar la especie de árbol, siendo de mucha importancia los nutrientes de los sustratos, así como su textura física para la aireación, siendo la dimensión de las partículas del aserrín superior a los 0,85 mm (Chen, 2005).

Los factores ambientales del sustrato (temperatura, humedad, oxígeno, luz y pH del sustrato) para el cultivo de *L. edodes* es importante, este hongo prefiere ambientes ácidos, pueden crecer en un rango amplio de pH 3 - 7 (Chen, 2001). Para la fase vegetativa el óptimo de pH es entre 4,5 y 5,5 y para la fase reproductiva pH de 3,5 a 4,5 (Gaitán, 2006). La adición de carbonato de calcio mejora la estructura física y mantiene el pH por encima de la media de pH igual a 4 durante la última etapa de descomposición cuando el sustrato presenta un pH extremadamente ácido (Castillo, 2008).

La relación C: N en sustratos preferidos por *L. edodes* y *P. ostreatus* es de 350:1 a 500:1, aunque el contenido de N de estos sustratos se complementa frecuentemente con fertilizante mineral o materiales que contienen elevados valores de N, tales como salvado de arroz, trigo, alfalfa y otros (Stamets, 2005).

Según Rodríguez et al. (2006) los parámetros óptimos para el cultivo del hongo *L. edodes* durante todo proceso se debe considerar lo siguiente: durante la incubación de 21-27 °C una temperatura (T°), duración de 1-2 meses y de 50-100 lux de luz; en el proceso fructificación – inducción de 6-21°C de T°, 5-7 días de duración y 500-2 000 lux de luz; y en caso de humedad relativa es 95-100% para ambos procesos; y en el proceso de fructificación - desarrollo requiere 21-27°C de T°, 60-80% de humedad relativa, 5-8 días de duración y 500-200 lux de luz; en el caso de los parámetros relación C/N del sustrato (40-100), humedad del sustrato (60-65%) y tamaño de partícula del sustrato (1-5 mm) considerar las mismas condiciones durante los tres procesos de cultivo. Por otro lado, al caracterizar los sustratos para cultivar hongos comestibles y medicinales en Vereda La Jagua, el Grupo Asociativo Terranostra (Municipio de Garzón) registró al bagazo de caña con 4,07 de pH, 9,0% de humedad, 98,15% de materia orgánica y 130 de relación C/N; y la cascarilla de arroz contiene 6,60 de pH, 10,81% humedad, 80,25% de materia orgánica y 121 de relación C/N.

Para Zamata (2021), el bagazo de caña de azúcar molido contiene 16,8% de lignina, 40% de celulosa y 103:1 de la relación C/N.

La pared celular vegetal está compuesta básicamente de celulosa, hemicelulosa y lignina, las cuales le brindan rigidez y protección a la planta (García y Merchán, 2011). Ballard (1997) indica la composición lignocelulósica de las maderas blandas y duras: 41% y 39% de celulosa, 24% y 35% de hemicelulosa, 27,8% y 19,5% de lignina, 2% y 3,1% de cenizas, 0,4% y 0,3% de extractos y 4,8% y 3,1% de otros respectivamente.

2.1.6. Infestación y rendimiento

El *Trichoderma spp.* (moho verde), la especie *T. viride* es una de las principales infectantes durante el crecimiento de *L. edodes* se caracteriza por el crecimiento

de un micelio blanco denso posteriormente esporulación verde, esto puede generar una reacción de color amarronado y los cuerpos fructíferos pueden cubrirse con un moho verde. El hongo se difunde en forma de parches grandes y verdes, interactuando con el micelio de *L. edodes* o la lisis de la fase final de los cuerpos fructíferos, surgiendo una degradación enzimática. La infestación de hongo verde genera un colapso del micelio y desorganización celular; a su vez no puede ser colonizado por el micelio de *L. edodes*, esos parches oscuros producirán rendimientos mucho menores de *L. edodes* y de calidad inferior; luego de la infección, los cuerpos de fructificación suelen volverse blandos y producir un líquido negro (Mushroom growers, 2005).

2.1.7. Tasa de biodegradación

La biodegradación es un proceso que, por lo general, ocurre de manera más lenta en comparación con otros mecanismos de descomposición, y depende de factores específicos para su eficacia. Entre las condiciones necesarias se incluyen una temperatura adecuada, niveles apropiados de humedad y la existencia de microorganismos específicos que faciliten la descomposición del material orgánico (Filiciotto y Rothenberg, 2021).

Según Monterroso (2009), la importancia del cálculo de la biodegradación del sustrato por una cepa es que provee, a grandes rasgos y sin requerir de un análisis profundo, una idea general de la facilidad que tendrán las plantas en absorber los nutrientes contenidos en los sustratos, después de que fueron usados por estos hongos lignocelulósicos para su desarrollo y fructificación, los cuales, eliminaron en gran medida, lignina y celulosa de la cual se alimentaron.

La tasa de biodegradación del sustrato se refiere al grado en que el material húmedo es descompuesto y absorbido por los diferentes aislamientos fúngicos. Este indicador permite evaluar la eficiencia con la que los hongos transforman el sustrato orgánico, liberando compuestos y nutrientes durante el proceso. Esta degradación es importante no solo para el crecimiento del hongo, sino también por su potencial beneficio agrícola, ya que los nutrientes liberados podrían ser aprovechados por las plantas si el sustrato residual se incorpora posteriormente al suelo. Así, la biodegradación no solo mide el consumo del sustrato por parte del hongo, sino también su posible aporte a la fertilidad del suelo en sistemas sostenibles de producción (Zárate, 2015).

En el caso de tener un medio contaminado por algún agroquímico, los hongos de pudrición blanca de la madera utilizan tres mecanismos enzimáticos principales para la degradación de contaminantes ambientales, dos de ellos basados en reacciones oxidativas y uno en procesos reductivos. El primer mecanismo es el sistema de degradación

de lignina, en el cual las enzimas ligninolíticas, como las peroxidasas, generan radicales libres que atacan compuestos orgánicos de manera oxidativa. El segundo mecanismo corresponde a la fase I del metabolismo, un proceso también oxidativo, en el que intervienen enzimas del tipo citocromo P-450 monooxigenasas, responsables de introducir grupos funcionales en las moléculas contaminantes. Finalmente, el tercer mecanismo es la fase II del metabolismo, donde una serie de enzimas realiza reacciones de conjugación con el fin de transformar los contaminantes en compuestos menos tóxicos y más fáciles de eliminar, completando así el proceso de detoxificación. Estos mecanismos hacen a estos hongos eficaces en la biorremediación de ambientes contaminados (Quintero, 2011).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Nacionales

Zamata (2021) en su trabajo de investigación titulado “Producción del hongo comestible *L. edodes* utilizando residuos de poda de árboles frutales y restos agroindustriales” en la región de Arequipa; concluye que, mejor resultado obtuvo al emplear el tratamiento T₃ conformado por 80% de aserrín de poda de vid, 13% de bagazo de caña molido, 4% de paja de arroz molida y 3% de carbonato de calcio (CaCO₃), con mayor colonización del micelio en el sustrato a los 49,5 días, diámetro de píleo de 40,6 mm, peso de hongo fresco de 360 g por cada 400 g de sustrato seco, obteniendo una eficiencia biológica del 90% y 652,5% de rentabilidad.

Holgado-Rojas et al. (2019) evaluaron la producción y el valor proteico del hongo comestible *Lentinula edodes* utilizando residuos agrícolas y forestales (chala de maíz, rastrojo de trigo, cebada, aserrín de eucalipto entre otros) generados en comunidades campesinas de la región Cusco. Determinaron entre sus variables al ciclo de cultivo (CC), la eficiencia biológica (EB) y la tasa de producción (TP) de dicho hongo comestible. Como resultado se muestra que se obtuvo una EB: 40,6-51,3%, CC: 135-155 días y TP: 0,3-0,4%. El análisis de proteínas en peso seco arrojó 34,54%; la especie es una importante fuente de fósforo (366,6 mg/100 g), magnesio (54 mg/100 g), calcio (16,7 mg/100 g) y hierro (3,6 mg/100 g), valores promedios que superan a los reportados en la leche de vaca, hígado de pollo, y maíz blanco.

Palomo (1997) al estudiar el “Comparativo de diferentes sustratos para el crecimiento y producción de *L. edodes*” en la región de Lima, concluye que, el porcentaje de humedad adecuado para el cultivo de *L. edodes* fluctúa entre el 60 y 70 %, siendo el sustrato adecuado a base de eucalipto que favoreció la producción de basidiocarpos y al emplear eucalipto con polvillo de arroz mejoró la calidad de los basidiocarpos.

2.2.2. Internacionales

Shanmugaraj et al. (2025) evaluaron varios sustratos y suplementos para optimizar el cultivo de *L. edodes*. El análisis de la duración de los ciclos de desarrollo del micelio en diferentes sustratos de grano reveló que el sorgo es el más eficiente, con la cepa LE-03 exhibiendo la colonización más rápida en solo 13,67 días. Los sustratos de arroz y trigo siguieron su ejemplo, mientras que el maíz exhibió los tiempos de colonización más largos en todas las cepas. El salvado de arroz emergió como el tratamiento más eficiente para la duración del desarrollo del micelio, superando al salvado de trigo y la torta de aceite de maní, y el grupo de control requirió la duración más larga. Además, el examen de los suplementos destacó que el salvado de trigo produjo consistentemente el mayor peso de hongos (750 gramos/sustrato) y la eficiencia biológica (46,48% a 54,71%) en todas las cepas. El salvado de arroz también mostró resultados competitivos, particularmente en rendimiento. La torta de aceite de maní se quedó atrás tanto en rendimiento como en eficiencia biológica en comparación con el salvado de trigo y arroz, mientras que el grupo de control produjo consistentemente los resultados más bajos. Estos hallazgos subrayan la importancia de la selección de sustratos y suplementos para optimizar el desarrollo del micelio, el rendimiento y la eficiencia biológica en el cultivo de hongos Shiitake. El salvado de trigo y el salvado de arroz emergieron como suplementos superiores, maximizando tanto el rendimiento como la eficiencia biológica, mientras que la torta de aceite de maní y el grupo de control mostraron un rendimiento comparativamente inferior. Este análisis exhaustivo proporciona información valiosa para mejorar las prácticas de cultivo de hongos Shiitake, enfatizando la importancia de las elecciones de sustratos y suplementos para lograr resultados óptimos.

Figuroa (2020) utilizó como tratamientos los residuos orgánicos como la fibra de coco, bagazo de la caña de azúcar y la tuza de maíz, combinados parcialmente con el aserrín de eucalipto para el cultivo casero del hongo *L. edodes*. El tratamiento con la mayor eficiencia biológica fue la combinación (40-60%) de eucalipto y la fibra de coco (42,78%), seguido por eucalipto y la tuza maíz (29,52%) y eucalipto y bagazo de caña (26,72%) con la misma combinación. Sin embargo, la combinación (40-60%) de eucalipto y la tuza de maíz alcanzó mayor producción, con 58 hongos en primera cosecha (527,99 g de peso fresco total) y dos hongos en la segunda cosecha; consiguiente por la misma combinación de eucalipto y fibra de coco con 47 unidades en la primera cosecha (444,46 g de peso fresco total) y tres unidades en la segunda cosecha. Asimismo, las combinaciones con mejor producción presentaron un tamaño promedio que oscilaron de 4,32 cm a 4,88 cm y la combinación con superior valor que alcanzó fue de eucalipto y bagazo de caña (60-40%) con 6,57 cm. Los

hongos producidos en el tratamiento con mejor eficiencia biológica presentaron 94,57% de humedad, 21,20% de proteína en base seca, 5,14% de grasa y 45% de carbohidratos totales. Por otro lado, el peso seco del sustrato de las combinaciones (40-60%) de eucalipto y la fibra de coco fue 1037,61 g y de eucalipto y la tuza maíz fue 1814,73 g.

Tabla 1. Formulaciones (%) de los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Bagazo de caña	Tusa de maíz	Fibra de coco	Eucalipto	CaCO ₃
T ₁ : EB-20	20			80	1
T ₂ : EB-40	40			60	1
T ₃ : EB-60	60			40	1
T ₄ : EM-20		20		80	1
T ₅ : EM-40		40		60	1
T ₆ : EM-60		60		40	1
T ₇ : EC-20			20	80	1
T ₈ : EC-40			40	60	1
T ₉ : EC-60			60	40	1
T ₁₀ : control				100	1

EB: eucalipto y bagazo de caña; EM: eucalipto y tusa de maíz; EC: eucalipto y fibra de coco.

Fuente: Figueroa (2020)

Desisa et al. (2023) desarrollaron sustratos utilizando subproductos agroindustriales disponibles localmente y estiércol animal para mejorar la producción de hongos *L. edodes* en Etiopía. Utilizaron siete diferentes sustratos: 100% bagazo de caña de azúcar (S₁), 80% bagazo de caña de azúcar, 20% estiércol de vaca (S₂), estiércol de caballo (S₃), estiércol de gallina (S₄), cáscaras de semilla de algodón (S₅), torta de filtración de caña de azúcar (S₆) y basura de caña de azúcar (S₇). El rendimiento de hongos y la eficiencia biológica se vieron afectados significativamente por el tipo de sustrato ($p < 0,05$). Se obtuvo un rendimiento (434,33 g/500 g de sustrato) y eficiencia biológica (86,83%) significativamente mayor utilizando el sustrato S₄, mientras que con el sustrato S₇ se obtuvo un menor rendimiento (120,33 g/500 g) y eficiencia biológica (24,33%) que con otros sustratos. El primer brote más grande de hongos se obtuvo en S₄, y se produjeron cinco brotes en este sustrato. S₄ también tuvo la eficiencia biológica más alta, el contenido de nitrógeno más alto y el C:N más bajo. El estiércol de pollo es rico en nitrógeno, magnesio, calcio y potasio, que son cruciales para el crecimiento del hongo Shiitake. Por lo tanto, el sustrato S₄

sería una opción viable para el cultivo de hongos Shiitake, particularmente en regiones donde el estiércol de pollo está fácilmente disponible. El sustrato S₂ también proporciona altos rendimientos y una rápida fructificación y sería una alternativa adecuada para el cultivo de hongos Shiitake.

En Bucaramanga, Chiriví (2018) determina un sustrato eficiente para el cultivo de *L. edodes* a partir de una mezcla de residuos de producción de café y vaina de arveja, usó compost de pulpa de café y vaina de arveja con diferentes proporciones. Donde observaron que, a partir de la semana siete, en los tratamientos de TC (50% de pulpa de café y 50% de vaina de arveja), TD (60% de pulpa de café y 40% de vaina de arveja) y TE (80% de pulpa de café y 20% de vaina de arveja) comenzaron formar pequeños basidiocarpos, hasta la semana nueve que alcanzó como máximo tres unidades, en caso de los tratamientos con proporciones contrarios al TD y TE fueron sin éxito; sin embargo, los sustratos y la cámara de emulación del clima no lograron desarrollar los cuerpos fructíferos por una inadecuada adaptación en la etapa de fructificación al ser más susceptibles al cambio de humedad y temperatura, por lo que son mayores debido a la disminución gradual del pH, que generó un efecto catalítico en la biodegradación de los sustratos, lo que llevó a agotar las fuentes de nitrógeno para el hongo provocando un exceso de humedad que detuvo el desarrollo y crecimiento de los cuerpos fructíferos. Además, la ausencia de una fuente de nitrógeno de mayor concentración en los sustratos demostró que el micelio vegetal no logró desarrollarse con normalidad y afectó el desequilibrio de C/N, hecho que se agravó por el intercambio de gases en la cámara de emulación del clima la cual contaba con la debilidad de tener poca ventilación, además de mantener altos porcentajes de humedad. La eficiencia biológica no pudo ser efectuado debido al déficit de los cuerpos fructíferos.

Ranjbar y Olfati (2017) evaluaron los componentes de sustratos en *L. edodes*, utilizaron como fuentes lignocelulósicas al aserrín de *Quercus brantii* (roble), aserrín de *Acer insigne* (arce), aserrín de *Abies lasiocarpa* (abeto) y paja de *Triticum aestivum* (trigo), consideraron como material complementario al salvado de trigo, salvado de arroz, maíz polvo y sin material suplementario (control). Entre los sustratos, el aserrín de arce contiene mayor celulosa con 61% y 28% de lignina y el aserrín de roble 57% de celulosa y 32% de lignina. Entre los sustratos evaluados, el aserrín de roble produjo la mayor eficiencia biológica (92,35%) y número de cuerpos fructíferos (72,75), en caso del peso fructífero (18,21 g) y el período de reproducción (21 días) fueron inferiores al contrario de los demás sustratos; el rendimiento más bajo fue del sustrato preparado a partir de paja de trigo con 59,32% de eficiencia biológica y 26,5 de cuerpos fructíferos. El efecto de los suplementos sobre sus

características, el salvado de trigo presenta superior eficiencia biológica (94,80%) y la cantidad de cuerpos fructíferos (53,45), seguido por maíz en polvo con 75,81% de eficiencia biológica; el control presentó 48,7% de eficiencia biológica y 21,72 g de producción, la cual coincide con el salvado de trigo.

Romero et al. (2015) en su investigación “Producción del hongo *L. edodes* en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales” ejecutado en el estado Puebla, México; concluye que el tratamiento C-Agro 2 compuesto por 60 Kg aserrín de *Quercus* sp. (encino), 10 Kg rastrojo de *Zea mays* (maíz), 28,5 Kg elote de *Z. mays*, 1,5 Kg yeso [CaSO_4], 150 L de agua, 8,2 pH del sustrato sin esterilizar y 7,5 pH del sustrato estéril, pueden producir 100,48% de EB en 100 Kg de sustrato húmedo durante el periodo de 265 días de producción, también a través el cálculo de la tasa de biodegradación indicó que la CP-CA 1 de *L. edodes* es capaz de convertir hasta 49,85% en alimento para el consumo humano. Asimismo, la calidad de los hongos en frescos está representada por 60% de la producción total, obteniendo hongos de tamaño mediano entre los 40 y 60 g al utilizar la fórmula experimental C-Agro2, calidad que busca el mercado local.

Philippoussis et al. (2007) determinaron los efectos de los residuos agrícolas en el rendimiento y calidad del hongo medicinal *Lentinula edodes*; la cual fueron producidos por fermentación en estado sólido, utilizando como sustratos diferentes mezclas de paja de trigo, mazorcas de maíz y aserrín de madera de roble. Donde se cultivaron hongos *L. edodes* en bolsas, la cual reveló una alta productividad en sustrato de mazorcas de maíz con 80,64% de eficiencia biológica, 32 setas o cuerpos fructíferos, 21,40 g de peso promedio, sin embargo, presentó inferior contenido de proteína con 11,03%, superior valor se registró en el sustrato de aserrín de madera roble con 19,87%. No obstante, la mezcla de paja de trigo pareció promover la fructificación temprana y la calidad del hongo con 52 días y siendo más prolongado en el sustrato de aserrín de madera roble (86 días). Por consiguiente, el sustrato de paja de trigo presentó 75,23% de eficiencia biológica y en promedio 25 cuerpos fructíferos. El diámetro del píleo o sombrero de *L. edodes* en los tres sustratos presentaron en promedio de 5,4 y 5,5 cm con mayor valor para sustrato de paja de trigo. Por otra parte, la relación C/N de los sustratos fueron 56,36 para aserrín de madera roble, 45,63 para paja de trigo y 41,57 para mazorcas de maíz; las mezclas de sustrato con una relación C/N más baja favorecieron la inducción temprana de esporóforos. Los hongos producidos en bolsas muestran correlación de la EB y el número de setas con el contenido de nitrógeno y la relación C/N de los sustratos. Sin embargo, los hongos producidos en aserrín de madera de roble presentaron el mayor contenido de proteína (19,87%); por lo que, el aumento de la productividad en mazorcas de

maíz no pudo seguir el ritmo de las características nutricionales del hongo, ya que este sustrato produjo basidiomas con contenido de proteína más bajo (11,03%).

Zhang et al. (2002) determinaron los efectos del método de reducción del tamaño de la paja de arroz y el trigo en el cultivo del hongo *Pleurotus sajor-caju* (ostra) sin suplemento de nutrientes, observando el nivel de inoculación de la semilla y el tipo de sustrato sobre el rendimiento de hongos, la eficiencia biológica, la eficiencia de bioconversión y la degradación del sustrato. Se compararon la paja molida con la paja troceada del arroz y del trigo. Como resultado presentaron que, la paja molida produjo una mayor tasa de crecimiento de hongos, pero con escaso rendimiento, al contrario, la paja picada presentó mayor tasa de rendimiento. Los ciclos de crecimiento de los champiñones con el sustrato molido fueron cinco días más cortos que con la paja picada para un tamaño de partícula similar. Al comparar la paja de ambas especies, la paja de arroz produjo alrededor de un 10% más de hongos que la paja de trigo en las mismas condiciones de cultivo. La pérdida de materia seca del sustrato después del crecimiento del hongo varió de 30,1% a 44,3%. La fibra de paja que quedó después de la utilización de hongos no fue tan degradable como la fibra de paja inicial, lo que indica que la fermentación fúngica no mejoró el valor alimenticio de la paja.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

La etapa inicial del proyecto de investigación se ejecutó en los ambientes del Laboratorio de Micología y Tecnología de la Propagación adscrita a la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables en la Universidad Nacional Agraria de la Selva que se encuentra en el distrito Rupa Rupa; la fase final que correspondía a la producción del hongo comestible se realizó en un ambiente acondicionado ubicado en un predio privado en el distrito de Castillo Grande, ambos lugares pertenecen a la provincia Leoncio Prado en el ámbito de la región Huánuco.

3.1.2. Ubicación geográfica

El Laboratorio de Micología y Tecnología de la Propagación (**Figura 41** del Anexo), se encuentra en el Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM): 390312 Este y 8970774 Norte (Apaza, 2017).

3.1.3. Ecología

De acuerdo a Holdridge (1978), la zona del Alto Huallaga corresponde a un bosque muy húmedo Pre-Montano Sub Tropical (bmh - PST) encontrándose inmerso en ella el área donde se llevó a cabo el experimento.

3.1.4. Clima

Presenta una precipitación anual media de 3 428,8 mm, produciéndose mayores lluvias entre los meses de septiembre a abril y alcanza un máximo extremo en el mes de enero con un promedio mensual de 483,6 mm; una humedad relativa de 87%, temperatura máxima de 29,4 °C, mínima de 19,2 °C, y media anual de 24,3 °C (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2017).

La temperatura durante todo el periodo de la producción del hongo comestible *L. edodes* registró una media de 24,53 °C a las 6: 00 a.m., luego se elevó hasta los 26,11 °C a las 2:00 p.m. y perduró elevándose a 26,84 °C a las 6:00 p.m. En el caso de los promedios mensuales, la producción inició en marzo donde la media fue 25,67 °C; además, se registró menor temperatura media en el mes de julio donde el valor fue 25,04 °C, mientras que los valores más elevados se mostraron en los meses de mayo y setiembre donde los promedios fueron de 26,27 °C y 26,28 °C respectivamente (**Figura 1**).

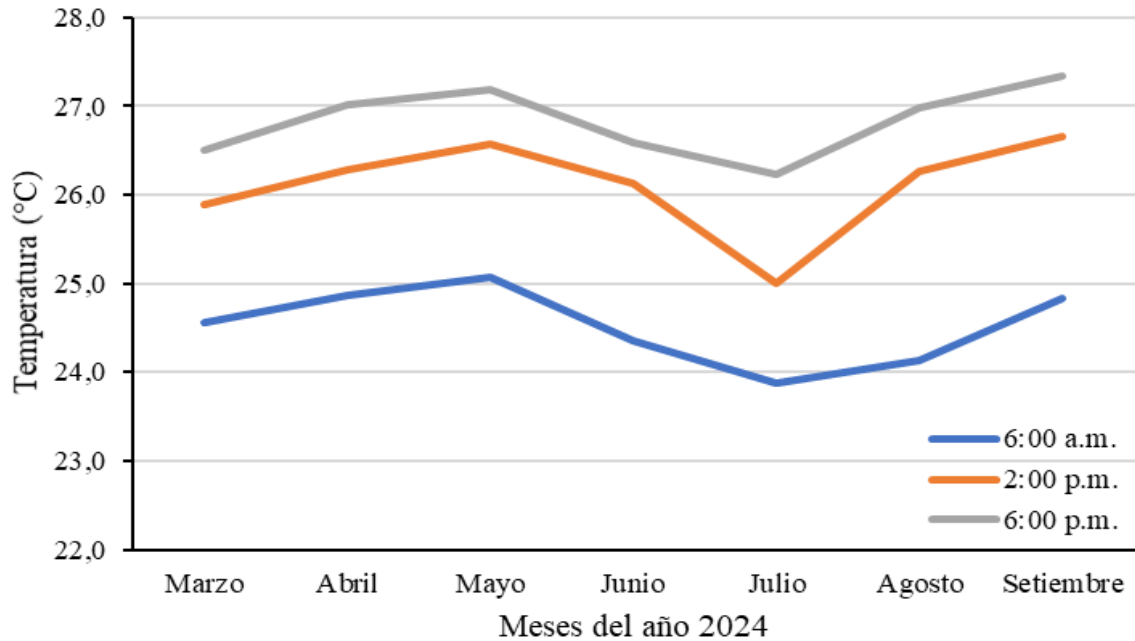


Figura 1. Comportamiento de la temperatura durante la producción del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

La humedad durante el periodo de la producción del *L. edodes* registró una media de 68,16% a las 6:00 a.m., luego disminuyó a 63,56% a las 2:00 p.m. y perduró en 63,95% a las 6:00 p.m. En el caso de los promedios mensuales, disminuyó a través de los meses transcurridos (**Figura 2**).

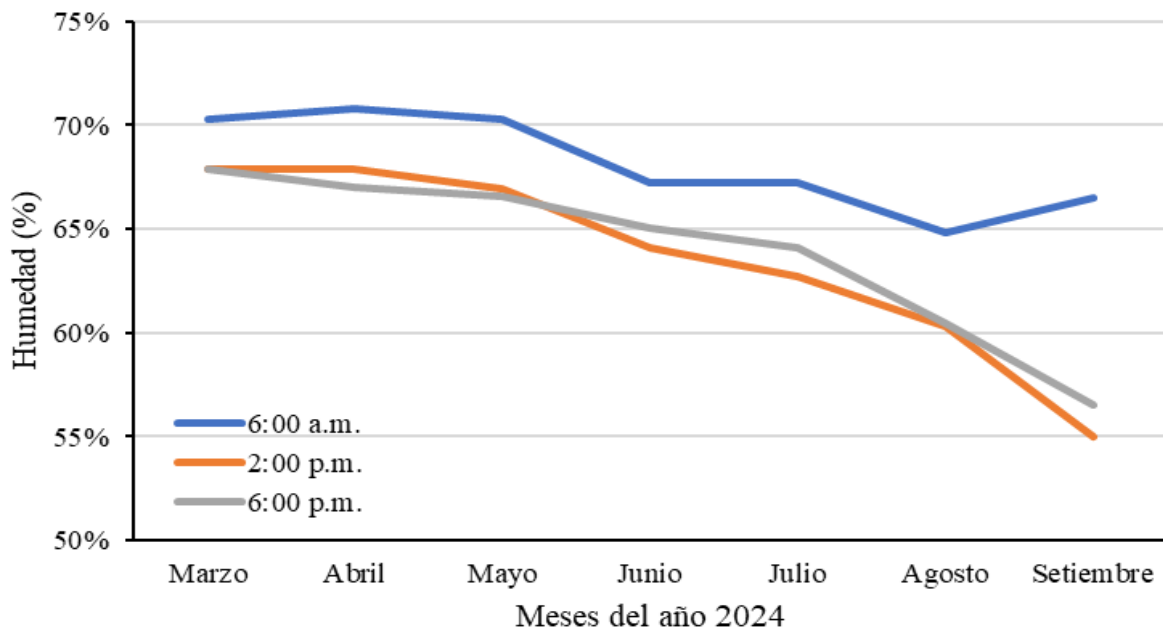


Figura 2. Comportamiento de la humedad durante la producción del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

3.2. Materiales y métodos

3.1.1. Materiales y equipos

Los reactivos e insumos que se utilizaron durante la fase de desarrollo del micelio reproductor fueron los siguientes: Agar papa dextrosa (PDA), Agua destilada, Hipoclorito de sodio, Alcohol 96°; semillas de cebada, aserrín de la transformación de madera de *Guazuma crinita* (bolaina blanca), aserrín de cajonería y bagazo de *Saccharum officinarum* (caña).

Los materiales de campo y de laboratorio con que se trabajaron durante la reproducción del micelio se mencionan a continuación: Plásticos, bolsas de polipropileno de 2 kg, algodón, bisturí, pabilo, plumón indeleble, guantes quirúrgicos, cajas Petri de 90 mm de diámetro, matraces, probetas, pipetas, vaso precipitado, cámara de flujo laminar, incubadora, balanza gramera, vernier, refrigerador, autoclave, estufa, termohigrómetro y cámara fotográfica.

3.1.2. Metodología

3.1.2.1. Determinación de la tasa de biodegradación del hongo comestible *L. edodes* sobre los sustratos lignocelulósicos

En esta preparación se utilizaron como sustrato: aserrín de cajonería, aserrín de bolaina blanca y bagazo de caña, por ser sustratos que favorecen el desarrollo del hongo, disponibilidad y cercanía de la zona, se consideraron las siguientes acciones:

Acopio de insumos como sustratos. Los componentes de los sustratos como el aserrín de bolaina blanca fueron comprados del centro de transformación primaria Grupo Industrial Foresta en la ciudad de Aucayacu, el aserrín de las microempresas cajoneras se adquirió de la localidad de Santa Rosa de Shapajilla; en el caso del bagazo de caña fue obtenido mediante la compra directa, que se recolectó de los comerciantes que se dedican a ese rubro en la ciudad de Tingo María.

Fermentación de los sustratos. Los sustratos, en este caso del bagazo de caña fueron cortados en pedazos pequeños de aproximadamente 2 a 5 cm de longitud. Posteriormente, en el caso del aserrín de cajonería, así como el aserrín de bolaina blanca fueron sometidos al proceso de fermentación (**Figuras 25 y 26** del Anexo) por un periodo de 19 días y 32 respectivamente, sometido a una elevada humedad por medio del riego y a temperatura mayor al del ambiente, esto con la finalidad de disminuir selectivamente parte de la flora microbiana presente en el mismo y favorecer el desarrollo adecuado del hongo, para ello se cubrió los sustratos colocados en pila con plástico negro.

Embolsado del sustrato. Una vez llevado a cabo el proceso de fermentación, el sustrato estuvo listo para ser embolsado de tal manera que el sustrato quedó bien comprimida en sus respectivas bolsas según el tratamiento indicado (**Tabla 2**), se llenaron en las bolsas de polipropileno resistentes de 2,0 kg, se introdujo un tubo de PVC en el centro de la bolsa, luego se procedió a cerrar las bolsas después de llenarlas con un anillo de plástico replegable y resistente, con el fin de crear una apertura en el cuello de la bolsa, mismo que debió ser taponado con algodón permitiendo así el intercambio de gases en el proceso de pasteurizado de los sustratos por un periodo de 8 horas, luego se dejó reposar por 24 h.

Tabla 2. Descripción de los sustratos o tratamientos en estudio.

Tratamientos	Repeticiones	Descripción de los sustratos
T ₁	10	Aserrín de bolaina blanca (100%)
T ₂	10	Aserrín de cajonería (100%)
T ₃	10	Bagazo de caña (100%)

Entre las labores como en la fase del laboratorio se consideró:

Limpieza y desinfección del laboratorio. Antes de iniciar las actividades de desarrollo del proyecto en el laboratorio, se hizo una limpieza de todo el ambiente, así como la desinfección respectiva con hipoclorito de sodio, esto con la finalidad de garantizar un buen trabajo posterior.

Preparación del medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA). Para el desarrollo del micelio del hongo en el laboratorio, se utilizó medio de cultivo sólido que posee la función de proporcionar al hongo los nutrimentos necesarios para su desarrollo. La preparación del Agar Papa Dextrosa se consideró utilizar un vaso precipitado en donde se le agregó 1000 ml de agua destilada, se le añadió luego 29 gramos de medio comercial y posteriormente se esterilizó durante 15 minutos a 121 °C aproximadamente, asimismo en condiciones asépticas (en cámara de flujo laminar), el medio de cultivo tibio fue vertido en caja Petri esterilizadas y se dejó solidificar.

Obtención de cepas de *Lentinula edodes*. El micelio del hongo *L. edodes* (cepas) a utilizar fueron proporcionados por el cepario del Laboratorio de Micología y Tecnología de la propagación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Cultivo de micelio. La propagación de micelio del *L. edodes* se realizó en medio de cultivo Agar Papa Dextrosa, se sembró en los medios un inóculo del

micelio de la cepa en condiciones de la cámara de flujo laminar; esto con la finalidad de contar con el micelio activado y suficiente para la propagación en granos de cebada.

Preparación de la semilla. Se preparó cuatro (04) bolsas por tratamiento utilizando semilla de cebada precocido por un periodo de 16 minutos previamente limpio (sin impurezas), al término del tiempo de cocción, se escurrió y se puso a orear por un tiempo de 30 minutos lo cual se logró esparciendo en una mesa sobre un mantel hasta que los granos estuvieron fríos para eliminar el exceso de agua y tener al final una humedad de 50%.

Siembra de micelio en los granos de cebada. Una vez lista los granos de cebada, en las bolsas de plástico resistentes a las altas temperaturas (polipropileno) de dimensiones 6" x 12" x 2 mm fueron llenados por las semillas de cebada hasta la tercera parte de la bolsa para luego ser amarradas con hilo pabilo. Esto posteriormente fueron autoclavadas por 45 minutos a 121 °C; concluida la esterilización, las bolsas fueron enfriadas a temperatura ambiente llevándolos a la cámara de flujo laminar. Una vez frías, se procedió la inoculación (**Figura 23** del Anexo) que consistió en extraer de las placas Petri donde se propagó el micelio en medio de cultivo Agar papa dextrosa (PDA) un trozo del micelio del hongo (cepa madre), el cual se realizó la incubación de 24 - 27 °C bajo total oscuridad, hasta que el micelio cubría totalmente los granos.

Otra de las actividades relevantes fue la siembra de micelios en los sustratos, considerando los siguientes aspectos:

Siembra de micelio (semilla) en los sustratos. Una vez llevado a cabo el proceso de pasteurización y enfriamiento de los sustratos, estuvieron listos para ser inoculado el micelio (**Figura 29** del Anexo), la inoculación se realizó agregando 4% de semilla con respecto al peso del tubular (bolsa con sustrato), las semillas se agregaron haciendo un orificio en el centro del sustrato desde la parte superior hasta casi la parte inferior del tubular y se taparon los tubulares con ayuda de un collar de plástico, esto facilitó el intercambio gaseoso, ya que se entregaron los tubulares listos para las siguientes etapas las como son la incubación, fructificación y cosecha.

Acondicionado de las bolsas con el sustrato sembrado. En la etapa de acondicionamiento se colocaron los sustratos en un ambiente cerrado totalmente oscuro, que fue un sitio apto para que el hongo incube, donde la temperatura estuvo a 2,0 °C superior a la temperatura ambiente durante un periodo de 2 a 3 meses en condiciones de oscuridad, para luego dar paso a la etapa de fructificación. En la etapa de fructificación se acondicionó el ambiente para que tenga un 80 – 90 % de humedad relativa con la ayuda de un atomizador y dándole al hongo una ventilación adecuada.

Durante esta etapa se realizaron apuntes de la temperatura 3 veces por día (**Figuras 32 y 33** del Anexo), los cuales fueron a las 6 de la mañana, 2 de la tarde y 6 de la tarde para poder tener un registro de promedio diario.

Debido a que el estudio se llevó a cabo en un medio donde se controlaron algunos factores ambientales como la temperatura y humedad, las distribuciones de los tratamientos se realizaron en base a un diseño completo al Azar (**Figura 1**), cuyas características fueron los siguientes:

- Número de tratamientos : 03
- Número de repeticiones : 10
- Unidad experimental : 01 bolsa con sustrato
- Total, de unidades experimentales : 30



Figura 3. Distribución de los tratamientos en estudio.

La tasa de biodegradación (TB) fue obtenida mediante la siguiente fórmula (Salmones et al., 1997):

$$TB = [PS \text{ sustrato inicial} - PS \text{ sustrato final} / PS \text{ sustrato inicial}] * 100)$$

Siendo:

PS: Peso seco en gramos

3.1.2.2. Determinación de la eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento, tamaño, número de cosechas y periodo de producción artesanal del hongo comestible *L. edodes* sembrados en diferentes sustratos

Las cosechas de los hongos se realizaron mediante un corte en la base del estípite cuando estos se encontraban maduros cuyo indicador fue la presencia de la curvatura observada en el borde del píleo (Gutierrez, 2005; Holgado-Rojas et al., 2019). Las variables que se determinaron fueron las siguientes:

Eficiencia biológica (EB). Se realizó el cálculo por de manera global cuando ya no se observó la producción en los sustratos, siendo la expresión matemática la siguiente:

$$EB = \frac{\text{Peso de los cuerpos fructíferos frescos}}{\text{Peso seco del sustrato}} \times 100$$

Tasa de producción (TP). Se utilizó el valor final en donde se consideró la eficiencia biológica final y también se determinó el conteo del tiempo transcurrido hasta que se acabó las cosechas desde que se haya inoculado el hongo, siendo la expresión:

$$TP = \frac{\text{Eficiencia Biológica}}{\text{Tiempo en días (desde la inoculación a la cosecha)}}$$

Rendimiento (R). Se determinó con el peso fresco acumulado de los hongos producidos por cada bolsa con sustrato, el cual se realizó la división con el peso fresco del sustrato donde se produjo se cultivó el hongo, siendo la expresión lo siguiente:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso fresco de los hongos cosechados}}{\text{Peso fresco del sustrato}} \times 100$$

Tamaño. Los tamaños estuvieron basados en el diámetro del píleo, siendo estos los grupos o categorías a tener en cuenta:

- ✓ Grupo 1 (G1) Diámetro del píleo menor a 5 cm.
- ✓ Grupo 2 (G2) Diámetro del píleo desde 5 cm hasta los 9,9 cm.
- ✓ Grupo 3 (G3) Diámetro del píleo desde 10,0 cm hasta los 15,0 cm.

Número de cosechas. Referida a la cantidad de cosechas u oleadas que se realizó en cada bolsa con sustrato hasta que ya no se observó presencia de la producción de los hongos.

Periodo de producción o ciclo de cultivo. Se registró el tiempo en días transcurridos hasta que se realizó la última cosecha en cada unidad experimental.

3.1.2.3. Determinación de la humedad, grasa proteína y carbohidratos del hongo comestible *L. edodes* producidos artesanalmente con diferentes sustratos

Una vez cosechados los primeros hongos, se procedió a acomodar en bolsas herméticas con su respectivo rótulo con fines de transportarlos hacia el laboratorio de Nutrición de la Facultad de Industrias Alimentarias en donde se determinaron las siguientes variables:

- **Humedad.** Se obtuvo mediante el método de estufa universal y/o estufa de vacío que toma como referencia al Official Methods of Analysis (AOAC 934.01) (Instituto de Salud Pública, 2009).
- **Grasa.** La cantidad de grasa que contiene el hongo se determinó mediante el procedimiento 920.39C descrito en la AOAC (1990), utilizando un extractor tipo Soxhlet de Tecator (Universidad de Murcia, s.f.), siendo el método conocido como extracción por solvente a alta temperatura.
- **Proteína.** Se determinó por el método de combustión ($N \times 4.38$), denominado como el método semi micro Kjeldahl.
- **Carbohidratos.** Se realizó mediante el uso de la espectrofotometría.

3.1.2.4. Determinación del valor energético del hongo comestible *L. edodes* producidos artesanalmente con diferentes sustratos

Con los valores obtenidos de las tres repeticiones por tratamientos, se emplearon valores de proteínas, carbohidratos y grasas, siendo reemplazados en la siguiente expresión matemática (Gutierrez, 2005):

$$\text{Kcal/100g} = 2,62*(\% \text{ de proteína}) + 4,2*(\% \text{ de carbohidratos}) + 8,37*(\% \text{ de grasas})$$

Los datos obtenidos fueron comparados mediante la estadística descriptiva e inferencial.

3.1.2.5. Componentes de la investigación

Enfoque. La investigación fue orientada bajo el enfoque cuantitativo, debido a que los datos recolectados fueron números y se utilizó como herramienta de análisis a la estadística (Hernández et al., 2014).

Tipo de investigación. La investigación fue de tipo aplicada, ya que para la ejecución, así como para la fase de redacción se optó por utilizar distintas teorías y métodos ya publicados.

Nivel de investigación. La investigación presentó un alcance o nivel explicativo porque los resultados obtenidos estuvieron enmarcados en la búsqueda de la relación causal (Ñaupas et al., 2018).

Diseño de investigación. La investigación presentó un diseño experimental de tipo experimento puro, debido a que durante la ejecución de la investigación se cumplió con los requisitos de aleatorización de los tratamientos, repetición de las unidades experimentales y el control del medio donde se ejecutó el ensayo (Hernández et al., 2014).

Población y muestra. En la investigación se consideró solamente a la población que fueron de 30 unidades experimentales o bolsas con sustrato, esto debido a que no se consideró bolsas con sustratos distribuidos como efecto de borde ya que el medio donde se realizó la producción del hongo fue diseñado para controlar la distribución de aspectos favorables como la temperatura y la iluminación (Ñaupas et al., 2018).

Variables de investigación. Se registró dos variables, la primera que fue el tipo de sustrato denominado como variable independiente y la segunda que fue la producción del hongo comestible denominada como la variable dependiente.

Técnica de recolección de datos. Para la recolectar los datos se hizo uso de uno de los sentidos como es la vista, razón por la cual la investigación registró como técnica de recolectar datos a la observación.

Análisis e interpretación de resultados. Una vez obtenido los cálculos, se procedió a realizar el análisis de los datos en donde se hizo uso de la estadística descriptiva solamente con la finalidad de determinar los cálculos de la frecuencia para las variables como el tamaño del píleo, mientras que en el caso de las demás variables se obtuvieron los valores de la medida de tendencia central (promedio aritmético) y medida de dispersión (error estándar, desviación estándar y coeficiente de variación) con fines de conocer el comportamiento de cada tratamiento de manera independiente entre las repeticiones que fueron establecidas.

Otra de las acciones realizadas fueron el contraste de hipótesis, para esta operación se utilizó la estadística inferencial en donde la herramienta estadística empleada fue el análisis de la varianza (**Tabla 3**) por tratarse de un estudio que cuenta con más de dos tratamientos (tres tratamientos), una vez determinado la existencia de significancia estadística al 99% y/o 95% de confiabilidad determinado por el p-valor, se procedió a realizar

la comparación de medias mediante la prueba de Tuckey cuya finalidad fue agrupar al tratamiento o los tratamientos con mayores y menores promedios. El modelo matemático que expresaron los efectos bajo un diseño completo al azar presentaba la forma:

$$Y_{(ij)} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

Siendo:

- Y_{ij} : Variable respuesta
- μ : Promedio general.
- t_i : Efecto del tratamiento o sustrato
- ξ_{ij} : Error experimental.

Tabla 3. Esquema del análisis de la varianza para un DCA.

Fuente de variación	Grados de libertad
Sustratos lignocelulósicos	$3 - 1 = 2$
Error del experimento	$3*(10-1) = 27$
Total	$3*10-1 = 29$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tasa de biodegradación del hongo comestible *L. edodes* sobre los sustratos lignocelulósicos

El análisis de los estadísticos descriptivos para la tasa de biodegradación (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos utilizados en Rupa Rupa evidencia diferencias significativas en la eficiencia de descomposición de los materiales. El aserrín de cajonería presentó la mayor tasa de biodegradación con una media del 65,60% y un coeficiente de variación bajo (3,46%), lo que indica estabilidad en los resultados y homogeneidad en la biodegradación del sustrato. En contraste, el aserrín de bolaina blanca mostró la menor tasa de biodegradación (31,50%), con una variabilidad intermedia (CV=15,26%), lo que sugiere que este sustrato podría presentar limitaciones en su composición química o estructura física para la descomposición eficiente por *L. edodes*. El bagazo de caña, con una tasa media de 58,00%, presentó la mayor dispersión (DE=9,78) y el CV más alto (16,85%), evidenciando mayor heterogeneidad en la biodegradación (**Tabla 4** y **Figura 4**), posiblemente atribuido a la variación de las condiciones de temperatura y humedad que fueron registrados durante los meses de la ejecución del estudio (**Figuras 1** y **2**). Resultados inferiores en comparación al aserrín de cajonería y bagazo de caña lo reportan Romero et al. (2015) cuando realizó un ensayo empleando como sustrato distintas concentraciones de aserrín de *Quercus* sp., rastrojo de *Z. mays*, elote de *Z. mays*, yeso y agua, donde los promedios fluctuaron desde 43,86% hasta 49,85%, estos valores ratifica la eficiencia del cultivo, la calidad del hongo y la sostenibilidad del sistema de producción; un equilibrio adecuado entre la velocidad de descomposición del sustrato y la absorción de nutrientes por parte del hongo comestible permite optimizar el rendimiento y la viabilidad económica del cultivo.

Tabla 4. Estadígrafos para la tasa de biodegradación (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	31,50	1,52	25,00	40,00	4,81	15,26
Aserrín de cajonería	10	65,60	0,72	62,00	68,00	2,27	3,46
Bagazo de caña	10	58,00	3,09	35,00	70,00	9,78	16,85

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

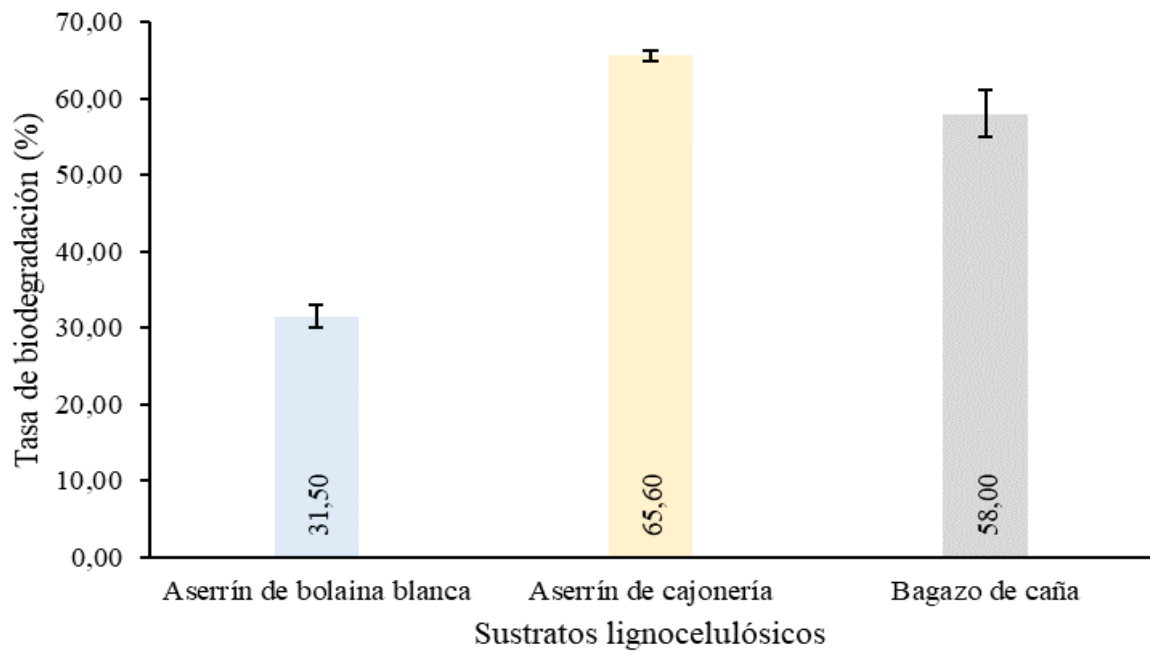


Figura 4. Tasa de biodegradación (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para la tasa de biodegradación del hongo comestible *L. edodes* en diferentes sustratos lignocelulósicos revela diferencias significativas ($p < 0,05$), lo que indica que el tipo de sustrato influye de manera determinante en la biodegradación, esta significancia estadística también se ve reflejada en sustratos que poseen distintas concentraciones de los mismos componentes (Romero et al., 2015) empleados en la misma especie de hongo comestible en estudio. Con un coeficiente de variación del 12,43%, la variabilidad dentro de los tratamientos es moderada, lo que sugiere una adecuada precisión experimental. La alta proporción de la suma de cuadrados explicada por los sustratos (85,2%) evidencia su impacto en la biodegradación. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar sustratos óptimos para mejorar la eficiencia del cultivo de *L. edodes*.

Tabla 5. Análisis de varianza para la tasa de biodegradación (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	6 409,400	2	3 204,700	77,641	<0,001*
Error experimental	1 114,456	27	41,276		
Total	7 523,856	29			

CV: 12,43%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey para la tasa de biodegradación del hongo *L. edodes* en distintos sustratos lignocelulósicos muestra diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). El aserrín de cajonería presentó la mayor biodegradación (65,60%), seguido del bagazo de caña (58,00%) y, finalmente, el aserrín de bolaina blanca (31,50%). La diferenciación clara entre tratamientos sugiere que la composición química del sustrato influye en la degradación del material y, posiblemente, en la eficiencia del crecimiento fúngico, ya que según Fogel (1997), estos organismos se alimentan absorbiendo nutrientes del material orgánico en que viven, por lo que estos secretan ácidos y enzimas que simplifican el material orgánico en partículas más fáciles de digerir y luego atraviesan la pared celular de la hifa; su nutrición es dependiente en su totalidad de una extensa red de micelios que penetran en el medio de crecimiento (Carlile et al., 2001). Estos hallazgos destacan la relevancia de optimizar la selección del sustrato para maximizar la eficiencia productiva en sistemas artesanales.

Tabla 6. Prueba Tuckey para la tasa de biodegradación (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
Aserrín de cajonería	10	65,60	a
Bagazo de caña	10	58,00	b
Aserrín de bolaina blanca	10	31,50	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$).

4.2. Eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento, tamaño, número de cosechas y periodo de producción artesanal del hongo comestible *L. edodes* sembrados en diferentes sustratos

4.2.1. Eficiencia biológica (EB)

El análisis de la eficiencia biológica (%) de *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos evidencia diferencias marcadas en la capacidad de producción del hongo según el material empleado. El bagazo de caña presentó la mayor eficiencia biológica con una media de 49,50%, aunque con la mayor dispersión de datos ($DE=10,49$) y un coeficiente de variación intermedio (21,19%), lo que indica cierta heterogeneidad en la producción, valor inferior al mejor sustrato encontrado por Desisa et al. (2023) que fue la mezcla de 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de gallina donde la eficiencia biológica media alcanzada fue de 86,83% que representó una producción de 434,33 g de hongos al emplear

500 g de sustrato. En contraste, el aserrín de bolaina blanca tuvo la menor eficiencia biológica (18,92%) y un alto coeficiente de variación (30,08%), sugiriendo que este sustrato no es óptimo para la producción de *L. edodes*, posiblemente debido a su baja disponibilidad de nutrientes o características físicas poco favorables para el desarrollo del micelio. Por otro lado, el aserrín de cajonería mostró una eficiencia biológica intermedia (30,20%), con la menor variabilidad (CV=11,02%), lo que indica una producción más estable y predecible en comparación con los otros sustratos (**Tabla 7** y **Figura 5**).

A nivel general, la eficiencia biológica presentó una variabilidad elevada, muy por debajo de lo registrado por Zamata (2021) donde solo obtuvo 20,24%; lo que sugiere que la selección del sustrato influye significativamente en el rendimiento del hongo, aunque pudo haber factores como lo atribuido a la variación de las condiciones de temperatura y humedad que fueron registrados durante los meses de la ejecución del estudio (**Figuras 1** y **2**), ya que la limitante de mantener constante estos factores repercutiría en la heterogeneidad de los resultados que se pudiera obtener en un mismo tratamiento o entre tratamientos. Estos resultados resaltan la importancia del bagazo de caña como un sustrato altamente eficiente para la producción artesanal de *L. edodes*, aunque con variabilidad que podría optimizarse mediante ajustes en la formulación del sustrato o en las condiciones de cultivo. En contraste, el aserrín de bolaina blanca debería considerarse menos recomendable, a menos que se realicen mejoras en su composición o suplementación para incrementar su eficiencia biológica, este último aspecto lo reportan Shanmugaraj et al. (2025) al utilizar aserrín complementado con salvado de trigo (14,5%) que presentó el mejor desempeño en tres cepas estudiadas, logrando el mayor eficiencia biológica promedio de los hongos con valores desde 46,48% en la cepa LE-03 y 54,71% en la cepa LE-02, esta diferencia lo atribuyen al efecto del uso de suplementos ya que al utilizar solamente aserrín considerado como testigo, los resultados fueron estadísticamente inferiores con medias de 35,94% en la cepa LE-02 hasta 38,88% en la cepa LE-03.

Tabla 7. Estadígrafos para la eficiencia biológica (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	18,92	1,80	12,17	31,00	5,69	30,08
Aserrín de cajonería	10	30,20	1,05	26,00	36,80	3,33	11,02
Bagazo de caña	10	49,50	3,32	37,00	70,00	10,49	21,19

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

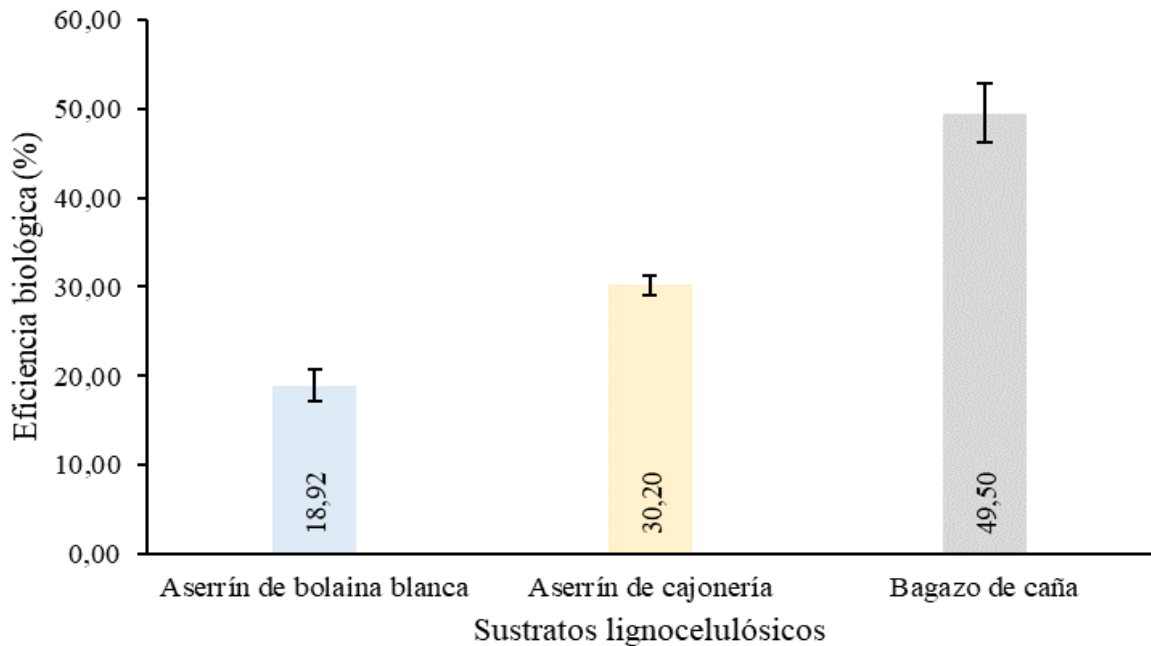


Figura 5. Eficiencia biológica (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza indica que la eficiencia biológica de *L. edodes* varía significativamente según el sustrato lignocelulósico utilizado ($p < 0,05$), con un valor F de 46,745. Esto sugiere que la capacidad del hongo para transformar el sustrato en biomasa fúngica depende en gran medida del material empleado, similares diferencias estadísticas también reportaron Desisa et al. (2023) al emplear siete tipos de sustratos. El coeficiente de variación (21,76%) refleja una variabilidad controlada en los datos, lo que fortalece la fiabilidad de los resultados, aunque no se logró mantener muy estables la temperatura y humedad por tratarse de una producción artesanal. Estos hallazgos destacan la importancia de seleccionar sustratos óptimos para maximizar la eficiencia biológica, promoviendo sistemas productivos más sostenibles y rentables en la producción artesanal de hongos comestibles.

Tabla 8. Análisis de varianza para la eficiencia biológica (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	4 783,813	2	2 391,906	46,745	<0,001*
Error experimental	1 381,558	27	51,169		
Total	6 165,371	29			

CV: 21,76%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

La prueba de Tukey revela diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la eficiencia biológica de *L. edodes* entre los sustratos evaluados. El bagazo de caña muestra la mayor eficiencia (de cada 100 g se obtiene 49,50 g de hongo), seguido del aserrín de cajonería (de cada 250 g se obtiene 75,50 g de hongo) y, finalmente, el aserrín de bolaina blanca (de cada 300 g se obtiene 56,75 g de hongo). Estas diferencias sugieren que la composición química y estructura del bagazo de caña favorecen la colonización y degradación por el micelio, optimizando la conversión de sustrato en biomasa fúngica. Zamata (2021) encontró resultados al utilizar residuos de poda de árboles frutales y restos agroindustriales con valores del 17,84% en el T₂ (70% de aserrín de poda de vid mezclado con 18% de bagazo de caña de azúcar molido, 9% de aserrín de paja de arroz y 3% de carbonato de calcio) hasta un 89,77% en el T₃ (80% de aserrín de poda de vid mezclado con 13% de bagazo de caña de azúcar molido, 4% de aserrín de paja de arroz y 3% de carbonato de calcio), más aún Stamets (1993) indica eficiencias biológicas entre el 100% a 200% utilizando sustratos de aserrín/virutas/salvado, este comportamiento se debe a que los sustratos compuestos presentan mejor eficiencia biológica respecto a los sustratos puros, similar encontraron Romero et al. (2015) al producir esta especie en distintas composiciones de aserrín de *Quercus* sp., rastrojo de *Z. mays*, elote de *Z. mays*, yeso y agua registrando resultados desde 83,55% hasta sustratos con 100,50% de EB, aunque difiere a Figueroa (2020) quien obtuvo hasta 42,78% de EB.

Tabla 9. Prueba Tuckey para la eficiencia biológica (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
Bagazo de caña	10	49,50	a
Aserrín de cajonería	10	30,20	b
Aserrín de bolaina blanca	10	18,92	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$).

4.2.2. Tasa de producción (TP)

El análisis de la tasa de producción (%/día) de *L. edodes* en diferentes sustratos lignocelulósicos demuestra que la elección del material influye significativamente en la velocidad de crecimiento y producción del hongo. El bagazo de caña presentó la mayor tasa de producción con una media de 0,31%/día, aunque con una alta dispersión (DE=0,07) y una variabilidad considerable (CV=22,75%), lo que indica que, si bien es el sustrato más productivo, su rendimiento es menos estable. En contraste, el aserrín de bolaina blanca mostró

la menor tasa de producción (0,11%/día) y un coeficiente de variación elevado (30,23%), lo que sugiere que este material no proporciona condiciones óptimas y que su desempeño es altamente irregular. Por otro lado, el aserrín de cajonería presentó un rendimiento intermedio de 0,17%/día, con la menor variabilidad (CV=11,55%), lo que indica una producción más homogénea y predecible (**Tabla 10** y **Figura 6**).

Tabla 10. Estadígrafos para la tasa de producción (%/día) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	0,11	0,01	0,07	0,17	0,03	30,23
Aserrín de cajonería	10	0,17	0,01	0,14	0,21	0,02	11,55
Bagazo de caña	10	0,31	0,02	0,23	0,43	0,07	22,75

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

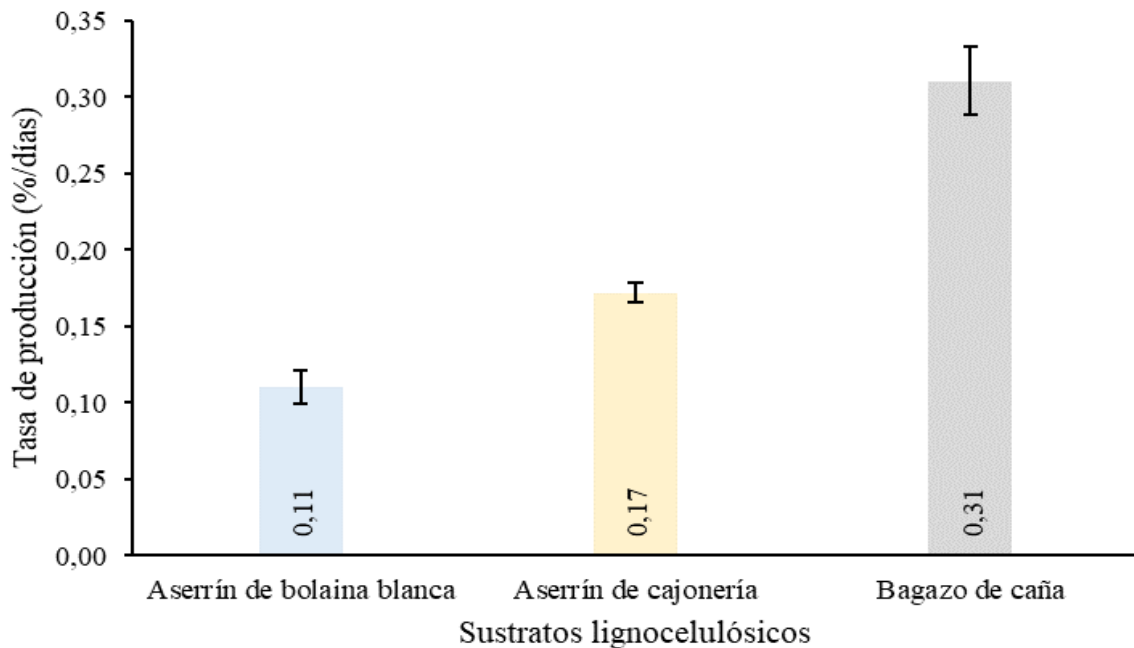


Figura 6. Tasa de producción (%/día) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza muestra que la tasa de producción de *L. edodes* varía significativamente según el sustrato utilizado ($p < 0,05$), con un valor F de 48,521. Esto indica diferencias sustanciales en la eficiencia de conversión del sustrato en biomasa fúngica. El coeficiente de variación (23,54%) sugiere una dispersión moderada en los datos, lo que

podría estar influenciado por factores ambientales que para la especie en estudio se debe tener sumo cuidado primordialmente a la temperatura y humedad del medio (Mata et al., 2020) donde se desarrolló el experimento. Estos resultados resaltan la importancia de optimizar la selección del sustrato para mejorar la productividad en sistemas artesanales, favoreciendo aquellos con una mejor conversión de nutrientes para un crecimiento más eficiente y sostenido.

Tabla 11. Análisis de varianza para la tasa de producción (%/día) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	0,210	2	0,105	48,521	<0,001*
Error experimental	0,058	27	0,002		
Total	0,269	29			

CV: 23,54%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

La prueba de Tukey indica diferencias significativas ($p < 0,05$) en la tasa de producción diaria de *L. edodes* según el sustrato utilizado. El bagazo de caña presenta la mayor tasa de producción (0,31%/día), superando al aserrín de cajonería (0,17%/día) y al aserrín de bolaina blanca (0,11%/día). Estos resultados sugieren que el bagazo de caña proporciona condiciones más favorables para el crecimiento y fructificación del hongo, probablemente por su mejor balance de lignina y celulosa; resultados similares y superiores encontraron Romero et al. (2015) al realizar un ensayo donde utilizaron en los sustratos distintas concentraciones de aserrín de *Quercus* sp., rastrojo de *Z. mays*, elote de *Z. mays*, yeso y agua, con una tasa de producción del 0,31%/día en el C-Agro 3 que contenía mayor cantidad de rastrojo de *Z. mays*, hasta el mayor promedio que fue 0,38%/día en el sustrato C-Agro 1 que contenía menor cantidad de aserrín de *Quercus* sp., ratificando que tanto los componentes así como sus proporciones utilizadas afectan la tasa de producción del hongo comestible en estudio. Optimizar el sustrato es crucial para maximizar la productividad y viabilidad del cultivo artesanal de hongos en Rupa Rupa, ya que Figueroa (2020) encontró que cuando a los sustratos a base de aserrín se le suelen mezclar con proporciones más altas de residuos orgánicos como tusa de maíz, bagazo de caña o fibra de coco encontró que la eficiencia biológica de *L. edodes* se incrementa, lo que haría que la tasa de producción se eleve ya que en la fórmula para calcularla la eficiencia biológica va en el numerador afectando directamente a la variable indicada.

El mayor promedio de la tasa de producción fue de 0,31%/día (**Tabla 12**), esta variable en cierta medida se ve afectada por las condiciones de cómo se realiza la producción de hongos, ya que, en condiciones artesanales similares al presente estudio, Holgado-Rojas et al. (2019) al utilizar como sustrato al aserrín de eucalipto (80%) más Salvado de trigo (18%) más yeso (1%) y Cal (1%) obtuvieron resultados de 0,30 %/día a 0,40 %/día en dos lugares distintos diferenciados por la gradiente altitudinal que se vincula inversamente proporcional con las condiciones de baja temperatura.

Tabla 12. Prueba Tuckey para la tasa de producción (%/día) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Bagazo de caña	10	0,31	a
2	Aserrín de cajonería	10	0,17	b
3	Aserrín de bolaina blanca	10	0,11	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$).

4.2.3. Rendimiento (R)

El análisis del rendimiento (%) de *L. edodes* en distintos sustratos lignocelulósicos evidencia diferencias significativas entre los materiales evaluados. El aserrín de bolaina blanca presentó el menor rendimiento promedio (5,63%), con una alta variabilidad (CV=30,16%), lo que sugiere que este sustrato no es óptimo para la producción del hongo y su desempeño es inconsistente. En contraste, el aserrín de cajonería mostró el mayor rendimiento (9,30%) con la menor variabilidad (CV=11,39%), lo que indica que proporciona condiciones más favorables y estables para el crecimiento de *L. edodes*. Por otro lado, el bagazo de caña alcanzó un rendimiento intermedio (8,08%), pero con una mayor dispersión de datos (CV=22,09%), lo que implica que su eficacia puede depender de factores adicionales como la humedad y la estructura del sustrato (**Tabla 13** y **Figura 7**). Rendimientos superiores reportan Shanmugaraj et al. (2025) al utilizar aserrín complementado con salvado de trigo (14,5%) que presentó el mejor desempeño en tres cepas estudiadas, logrando el mayor peso promedio de hongos en términos de rendimiento, los valores oscilaron entre 348,61 g en la cepa LE-03 y 410,34 g en la cepa LE-02 por 750 g de sustrato, esta diferencia a parte del peso inicial de los sustratos es resultado del uso de suplementos ya que al usar solo aserrín los resultados fueron estadísticamente inferiores con medias de 269,52 g en la cepa LE-02 hasta 291,63 g en la cepa LE-03.

Estos resultados sugieren que el aserrín de cajonería es la mejor alternativa para la producción de *L. edodes* en términos de estabilidad y rendimiento, mientras que el bagazo de caña podría ser una opción viable si se optimizan sus características físicas y químicas. En cambio, el aserrín de bolaina blanca debería descartarse o mejorarse mediante tratamientos previos. Este estudio subraya la necesidad de evaluar tanto la productividad como la estabilidad del rendimiento al seleccionar sustratos adecuados para la producción de hongos comestibles; además, se debe buscar opciones al hacer instalaciones para la producción de manera artesanal de estos hongos, ya que pudo haber heterogeneidad de respuestas en un mismo tratamiento por la variación de las condiciones de temperatura y humedad que fueron registrados durante los meses de la ejecución del estudio (**Figuras 1 y 2**).

Tabla 13. Estadígrafos para el rendimiento (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	5,63	0,54	3,62	9,23	1,70	30,16
Aserrín de cajonería	10	9,30	0,33	8,01	11,49	1,06	11,39
Bagazo de caña	10	8,08	0,56	6,27	11,86	1,79	22,09

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

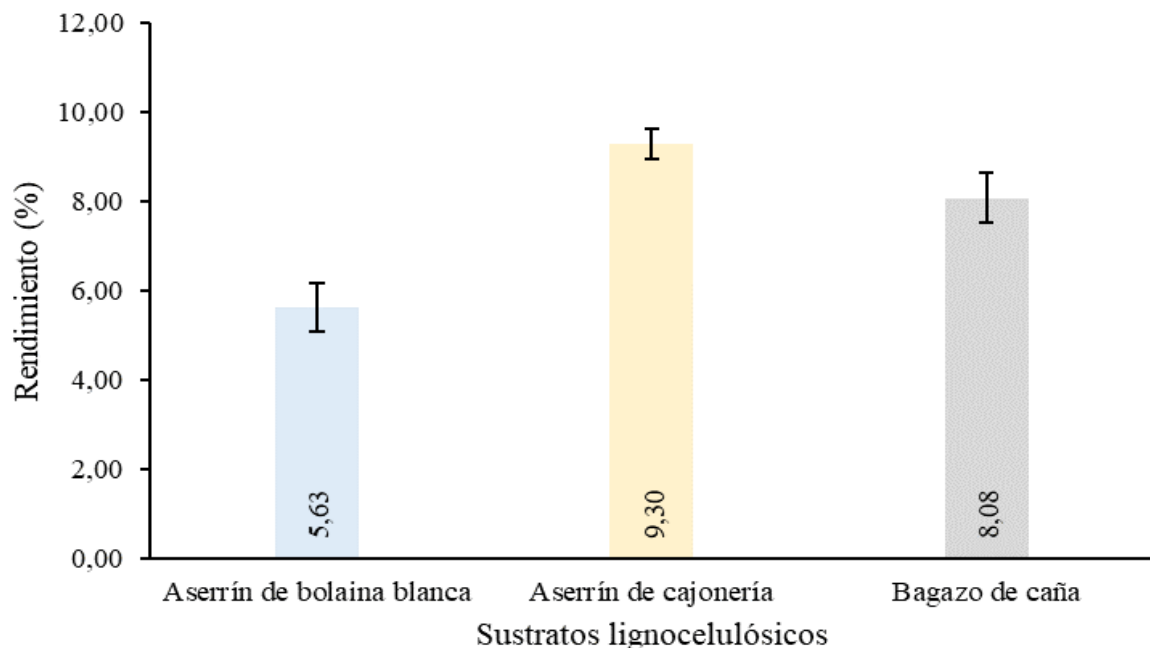


Figura 7. Rendimiento (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para el rendimiento de *L. edodes* evidencia un efecto significativo del tipo de sustrato ($p < 0,05$), con un valor F de 14,581. Esto confirma diferencias marcadas en la eficiencia productiva entre los sustratos evaluados, comportamiento similar lo registraron Desisa et al. (2023) al utilizar siete sustratos diferentes. Además, el coeficiente de variación (20,18%) indica una variabilidad moderada en la producción, lo que sugiere que, si bien los sustratos influyen en el rendimiento, otros factores como la humedad y la composición del sustrato pueden estar afectando la respuesta del hongo. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar sustratos óptimos para maximizar la producción en sistemas artesanales.

Tabla 14. Análisis de varianza para el rendimiento (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	69,895	2	34,948	14,581	<0,001*
Error experimental	64,715	27	2,397		
Total	134,610	29			

CV: 20,18%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de comparación de los promedios por parte del método Tukey, revela diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en la variable rendimiento de *L. edodes* según los sustratos lignocelulósicos utilizados. Los valores más altos se obtuvieron en el aserrín de cajonería (9,30%) y el bagazo de caña (8,08%), sin diferencias estadísticas entre ellos, mientras que el aserrín de bolaina blanca mostró un rendimiento significativamente menor (5,63%), esto es coherente con lo que describe Delpech (1990), resaltando que, al cultivar *L. edodes* empleando materiales como tusa de maíz, paja y troncos de cáñamo suelen obtenerse rendimientos similares o hasta superiores a lo que se alcanzan en troncos naturales. Dicho resultado sugiere que el aserrín de cajonería y el bagazo de caña ofrecen mejores condiciones para la fructificación del hongo, posiblemente debido a su estructura porosa y composición química. A pesar de la significancia estadística, los resultados obtenidos son inferiores a lo que reporta Stamets (1993) al encontrar rendimientos de las producciones desde los 680,39 a 1 360,78 g de hongos frescos por cada 2 721,55 g (2,72 kg) de aserrín/virutas/salvado traduciéndose en rendimientos que abarcan el rango de 25% a 50%, siendo esta variación dependiente del método de producción de esta especie de hongo.

Tabla 15. Prueba Tuckey para el rendimiento (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Aserrín de cajonería	10	9,30	a
2	Bagazo de caña	10	8,08	a
3	Aserrín de bolaina blanca	10	5,63	b

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

4.2.4. Tamaño del píleo

El análisis del diámetro del píleo de *L. edodes* en diferentes sustratos lignocelulósicos revela variaciones importantes en la morfología del hongo según el material empleado. El bagazo de caña mostró el mayor diámetro promedio (4,91 cm), pero con la mayor variabilidad (CV=28,51%), lo que sugiere que, aunque este sustrato permite un desarrollo significativo del píleo, los resultados son menos homogéneos, posiblemente debido a diferencias en la disponibilidad de nutrientes o en la retención de humedad. Resultados similares encontró Zamata (2021), en los nueve sustratos utilizados para producir la misma especie de hongo comestible variedad Donko y registrando diámetros desde los 3,92 cm hasta los 4,50 cm, donde consideró en todos sus sustratos proporciones del componente bagazo de caña de azúcar.

Por otro lado, el aserrín de cajonería presentó un diámetro promedio intermedio (3,93 cm) con la menor variabilidad (CV=16,45%), lo que indica una mayor estabilidad en el crecimiento del hongo y una menor dispersión en los datos. El aserrín de bolaina blanca, con el menor diámetro promedio (3,69 cm) y una variabilidad moderada (CV=24,44%), parece ser el sustrato menos favorable para la expansión del píleo (**Tabla 16** y **Figura 8**). Los resultados son inferiores a lo que lo describe Stamets (1993) donde considera a las dimensiones que son superiores a los 5,0 cm, posiblemente a que le caracterizó cuando se encontraba madura el píleo o también a las condiciones del ambiente como es el caso de la temperatura ya que en el presente estudio se mantuvo en el rango desde los 25,04 °C hasta los 25,67 °C (**Figura 1**), mientras que para el autor indicado la temperatura para climas cálidos durante la fase de colonización del sustrato debe estar entre 21 °C a 27 °C, luego descender en la formación de primordios entre 16 °C a 21 °C y en el desarrollo de cuerpos fructíferos debería estar entre 21 °C a 27 °C, esto resalta la importancia de tener controlados los factores ambientales.

En el diámetro del pïleo resalta la influencia del tipo de sustrato en el desarrollo del hongo, reportes de variables valores diametrales registraron Desisa et al. (2023) al usar sustratos y realizar la producción en una sala controlada, siendo la media más baja de 4,66 cm al utilizar como sustrato 100% bagazo de caña de azúcar y la media más alta fue de 13,33 cm al emplear 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de caballo. Estos resultados sugieren que el bagazo de caña suplementado con otros insumos podría ser una opción viable para obtener hongos de mayor tamaño, aunque sería necesario optimizar su estructura para reducir la variabilidad. En contraste, el aserrín de cajonería se perfila como la mejor opción en términos de uniformidad en la producción. Este estudio enfatiza la importancia de seleccionar sustratos que no solo maximicen el crecimiento del pïleo, sino que garanticen una producción más homogénea y predecible en sistemas artesanales de cultivo.

Tabla 16. Estadígrafos para el diámetro del pïleo (cm) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	3,69	0,29	2,54	5,20	0,90	24,44
Aserrín de cajonería	10	3,93	0,20	3,24	5,20	0,65	16,45
Bagazo de caña	10	4,91	0,44	3,06	6,87	1,40	28,51

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

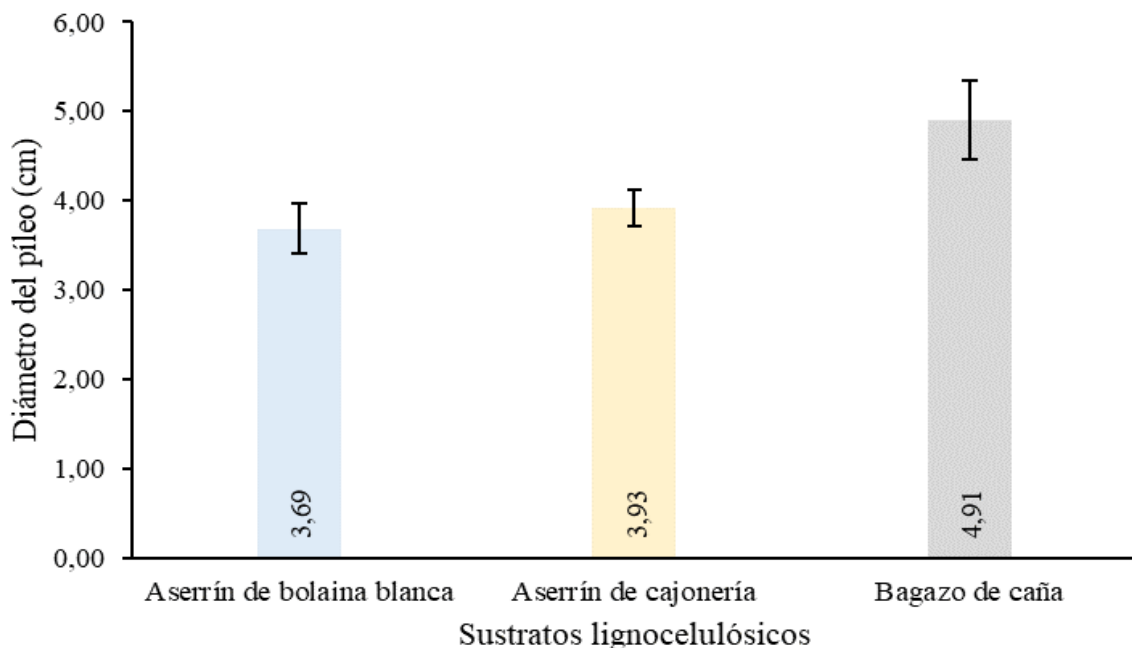


Figura 8. Diámetro del pïleo (cm) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para el diámetro del píleo de *L. edodes* revela una influencia significativa del tipo de sustrato en el desarrollo del hongo ($p = 0,032$), con un valor F de 3,933, lo que indica diferencias entre tratamientos al 95% de confianza, este comportamiento difiere a lo encontrado por Zamata (2021) al probar nueve sustratos en la producción de la misma especie de hongo comestible al no demostrar significancia estadística, posiblemente debido a que los sustratos e inclusive el testigo fueron formulados en base a cuatro componentes (bagazo de caña, paja de arroz, carbonato de calcio y otros residuos de poda) con diferentes proporciones. Sin embargo, el coeficiente de variación (24,69%) sugiere una variabilidad moderada en los datos, posiblemente relacionada con factores ambientales o la calidad del sustrato. Estos resultados resaltan la necesidad de optimizar las condiciones de cultivo para reducir la variabilidad y mejorar la homogeneidad del tamaño del píleo, favoreciendo así la estandarización del producto en sistemas artesanales.

Tabla 17. Análisis de varianza para el diámetro del píleo (cm) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	8,355	2	4,177	3,933	0,032*
Error experimental	28,674	27	1,062		
Total	37,029	29			

CV: 24,69%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

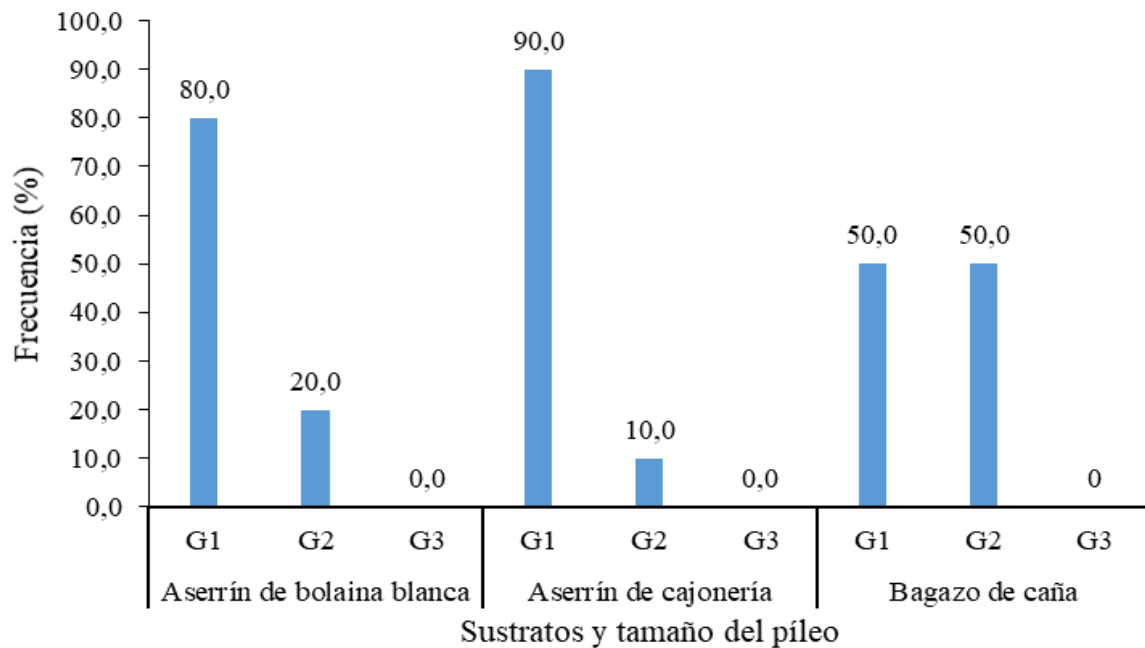
El análisis de la prueba de comparación de medias de Tukey indica que, el diámetro del píleo de *L. edodes* varía significativamente según al menos uno de los sustratos lignocelulósicos utilizados ($p < 0,05$). El mayor diámetro se obtuvo en el sustrato denominado bagazo de caña con una media de 4,91 cm, siendo superior a lo registrado por Zamata (2021) donde resaltó mejor promedio de 4,5 cm al utilizar un sustrato compuesto por 80% de aserrín de poda de vid, 13% de bagazo de caña molido, 4% de paja de arroz molida y 3% de CaCO_3 , asimismo en el presente estudio el promedio fue seguido del aserrín de cajonería (3,93 cm), que no difiere significativamente entre ambos sustratos. El menor diámetro se registró en el aserrín de bolaina blanca (3,69 cm), evidenciando diferencias significativas con el bagazo de caña (**Tabla 18**). Estos resultados sugieren que el bagazo de caña proporciona mejores condiciones para el desarrollo del píleo, lo que podría deberse a su mayor retención de humedad y disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento fúngico.

Tabla 18. Prueba Tuckey para el diámetro del píleo (cm) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Bagazo de caña	10	4,91	a
2	Aserrín de cajonería	10	3,93	ab
3	Aserrín de bolaina blanca	10	3,69	b

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

Los grupos de hongos categorizados en base a su tamaño del píleo sobresalieron los del grupo 1 (**Figura 9**), resultados similares encontró Figueroa (2020) donde probó 10 sustratos de las cuales seis logran encontrarse en el grupo 2 y el resto en el grupo 1, de acuerdo a Ting (1994) solamente se pudieran comercializar en el mercado nacional, ya que para exportación se necesitan que se produzcan productos aglomerados en la categoría del grupo 3, siendo necesario realizar mejoras de las técnicas utilizadas durante la producción.



Grupo 1 (G1) Diámetro del píleo menor a 5 cm; Grupo 2 (G2) Diámetro del píleo desde 5 cm hasta los 9,9 cm; Grupo 3 (G3) Diámetro del píleo desde 10,0 cm hasta los 15,0 cm

Figura 9. Frecuencia de los grupos para el diámetro del píleo (cm) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

No se reportó categorías de tamaño en el grupo 3, mientras que en el sustrato a base de bagazo de caña de azúcar el G1 y G2 presentaron similar distribución de

producción (**Figura 9**), respuestas discordantes a lo encontrado por Romero et al. (2015) en donde en los tres sustratos utilizados a base de residuos agroforestales obtuvieron producción del píleo distribuidos en las tres categorías, pero fue mayor la producción con calidad G2, seguida de G1 y finalmente menor fue la proporción de los hongos comestibles pertenecientes al grupo G3, además, observó mayor proporción de hongos con forma regular respecto a los de forma irregular, estos resultados ratifican que al cultivar esta especie de hongo comestible a pesar de utilizar los mismos componentes en los sustratos la calidad de la producción se ve influenciada por la proporción de los componentes que conforman cada sustrato.

4.2.5. Cosechas

4.2.5.1. Número de cosechas

El análisis del número de cosechas de *L. edodes* en diferentes sustratos lignocelulósicos evidencia diferencias significativas en la capacidad productiva del hongo según el material utilizado. El bagazo de caña registró el mayor número promedio de cosechas (2,30), con una variabilidad relativamente alta (CV=29,35%), lo que indica que, si bien este sustrato favorece una mayor cantidad de cosechas, los resultados pueden ser menos consistentes entre repeticiones. En contraste, el aserrín de cajonería presentó un número de cosechas intermedio (2,00) pero con la variabilidad más baja (CV=0,00%), lo que sugiere una producción estable y uniforme, sin diferencias entre repeticiones. Por otro lado, el aserrín de bolaina blanca mostró el menor número de cosechas (1,50) con una alta variabilidad (CV=35,14%), evidenciando que este sustrato limita la productividad y presenta resultados inconsistentes (**Tabla 19** y **Figura 10**), esto también se vio reflejado en el estudio de Desisa et al. (2023), en donde los sustratos conformados por 100% bagazo de caña de azúcar así como la mezcla de 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de vaca alcanzaron solamente tres cosechas, mientras que en el caso del uso de los sustratos 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de caballo así como la mezcla de 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de gallina incrementaron sus cosechas hasta obtener cinco cosechas.

El número promedio de cosechas es superado por el reporte de Romero et al. (2015), quienes utilizaron la cepa CP-CA1 de *L. edodes* en los sustratos conformados por distintas proporciones de aserrín de *Quercus* sp., rastrojo de *Z. mays*, elote de *Z. mays*, yeso y agua denominados C-Agro 1, C-Agro 2 y C-Agro 3, registrando que el número de cosechas fueron de tres para todos los sustratos, con la cual se ratifica que los sustratos compuestos suelen generar mayor cantidad de cosechas, aunque la proporción de hongos cosechados es mayor en la primera oleada y disminuye dicha proporción hacia la tercera cosecha. Estos resultados sugieren que el bagazo de caña podría ser una alternativa

viable para maximizar la cantidad de cosechas, aunque su variabilidad implica la necesidad de un control más estricto de las condiciones de cultivo.

Tabla 19. Estadígrafos para el número de cosechas del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	1,50	0,17	1,00	2,00	0,53	35,14
Aserrín de cajonería	10	2,00	0,00	2,00	2,00	0,00	0,00
Bagazo de caña	10	2,30	0,21	2,00	4,00	0,67	29,35

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

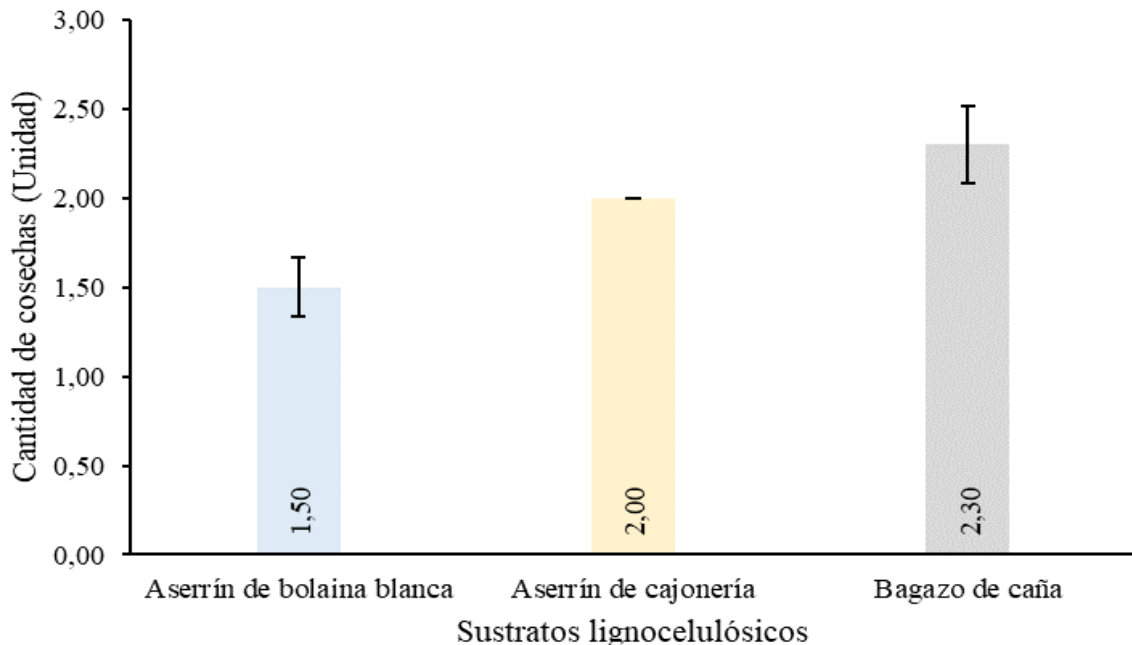


Figura 10. Número de cosechas del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para el número de cosechas (*oleadas*) de *L. edodes* indica que el tipo de sustrato influye significativamente en la variable evaluada ($p = 0,004$) con un valor F de 6,682, lo que confirma diferencias entre tratamientos con un 95% de confianza. Sin embargo, el coeficiente de variación (25,57%) sugiere una moderada variabilidad en la producción. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar sustratos adecuados para maximizar la cantidad de cosechas, optimizando la disponibilidad de nutrientes y condiciones de descomposición. Es fundamental investigar estrategias para reducir la variabilidad y mejorar la estabilidad productiva en cultivos artesanales.

Tabla 20. Análisis de varianza para el número de cosechas del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	3,267	2	1,633	6,682	0,004*
Error experimental	6,600	27	0,244		
Total	9,867	29			

CV: 25,57%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey indica que el número de cosechas de *L. edodes* varía significativamente según el sustrato utilizado ($p < 0,05$). El mayor número de cosechas se obtuvo en el bagazo de caña (2,30), seguido del aserrín de cajonería (2,00), que no difiere significativamente del primero. El menor número de cosechas se registró en el aserrín de bolaina blanca (1,50), mostrando diferencias significativas con el bagazo de caña (**Tabla 21**); dichos valores es dependiente en cierta medida aparte del tipo de sustrato es por la cantidad de sustrato, ya que para Rodríguez et al. (2006), al cultivarlos sobre troncos se cosechan pocas cantidades, pero en métodos de cultivo en medios controlados al utilizar como sustrato 1 000 g de aserrín suplementado llegan a producir alrededor de dos oleadas y al elevar el peso del sustrato entre 2 000 a 3 000 g suele lograrse cuatro cosechas. Estos resultados sugieren que el bagazo de caña favorece una mayor producción prolongada, posiblemente debido a su mejor retención de humedad y mayor contenido de compuestos lignocelulósicos esenciales para la fructificación del hongo, siendo alentador este comportamiento ya que Figueroa (2020) en 10 sustratos utilizados solamente logró encontrar cinco sustratos donde solamente cosechó en una sola oportunidad y los otros cinco tratamientos que llegaron a cosecharse en dos oportunidades, pero fue notorio que la mayor cantidad de frutos del total cosechado fue recogido en la primera cosecha lo que no garantizó la permanencia de cosechas del cultivo.

Tabla 21. Prueba Tuckey para el número de cosechas del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Bagazo de caña	10	2,30	a
2	Aserrín de cajonería	10	2,00	ab
3	Aserrín de bolaina blanca	10	1,50	b

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

La frecuencia de cosechas en las repeticiones establecidas dentro del experimento realizado hace notar que el uso de aserrín de cajonería solamente se logró cosechar en dos oportunidades, mientras que en los demás sustratos la cantidad de cosecha fue variable (**Figura 11**), resultados similares de utilizar aserrín de cajonería y aserrín de bolaina blanca con lo encontrado por Figueroa (2020), en donde la cantidad de cosechas de 10 sustratos que utilizó en su experimento no superó la cantidad de dos cosechas, este comportamiento es de suma importancia, ya que la cantidad de cosechas en el cultivo de hongos comestibles es crucial para la rentabilidad, eficiencia y sostenibilidad del sistema de producción; un mayor número de cosechas permite maximizar la producción sin aumentar significativamente los costos, aprovechar al máximo el sustrato y garantizar una oferta estable en el mercado. Por ello, los cultivadores deben gestionar adecuadamente las condiciones del cultivo para prolongar la cantidad y calidad de las cosechas.

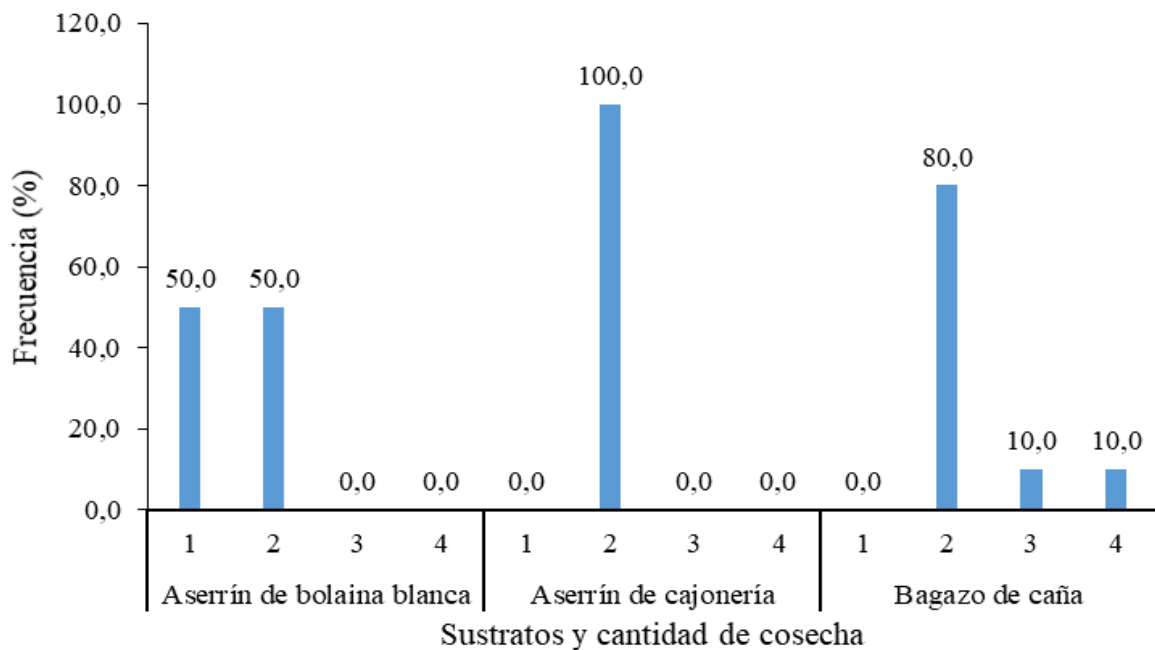


Figura 11. Frecuencia para el número de cosechas del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

4.2.5.2. Número de frutos por bolsa

El análisis del número de frutos por bolsa de *L. edodes* en distintos sustratos lignocelulósicos revela una variabilidad considerable en la producción, lo que indica que la elección del sustrato influye significativamente en la productividad del hongo. El aserrín de cajonería presentó el mayor promedio de frutos por bolsa (15,40), con

una variabilidad moderada (CV=37,01%), lo que sugiere que este sustrato favorece una producción relativamente estable y eficiente. En contraste, el aserrín de bolaina blanca mostró un número de frutos por bolsa ligeramente menor (13,00), pero con una variabilidad significativamente alta (CV=69,18%), lo que indica una mayor dispersión en los resultados y una menor predictibilidad en la producción. Por otro lado, el bagazo de caña registró el menor número promedio de frutos por bolsa (6,90) con una alta variabilidad (CV=58,15%), lo que sugiere que este sustrato es menos eficiente para la producción de *L. edodes* y genera resultados más inconsistentes (**Tabla 22** y **Figura 12**). Resultados que se encuentran en el rango encontrado por Figueroa (2020) al utilizar bolsas con 1 500 g de sustratos compuestos (peso húmedo) y lograr cosechar desde dos hongos hasta 60 hongos, los promedios mayores fueron registrados al utilizar 40% de aserrín de eucalipto y 60% de tusa de maíz con 60 hongos cosechados, 40% de aserrín de eucalipto y 60% de fibra de coco con 50 frutos cosechados, así como 40% de aserrín de eucalipto y 60% de bagazo de caña con 24 hongos cosechados, notándose que mientras más cantidad de aserrín se disminuyó la cantidad de hongos producido llegando a cosechar nueve frutos cuando el sustrato fue en su totalidad 100% de aserrín de eucalipto, ratificando la necesidad de utilizar sustratos compuestos.

El promedio total de frutos por bolsa la influencia del tipo de sustrato en la productividad, reportes similares fueron reportados por Desisa et al. (2023), en sustratos conformados por 80% bagazo de caña de azúcar mezclado con 20% estiércol de vaca, así como el uso de 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de caballo que en ambos casos reportaron 11,33 frutos, aunque también hubo sustratos como mezclar 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de gallina que obtuvo 15,66 frutos, y el sustrato conformado por 80% bagazo de caña de azúcar con cáscara de semillas de algodón 20% registró menor promedio (5,00 frutos). Estos resultados indican que el aserrín de cajonería es la opción más recomendable para maximizar la producción de frutos por bolsa con una variabilidad controlada.

Tabla 22. Estadígrafos para el número de frutos por bolsa del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	13,00	2,84	3,00	34,00	8,99	69,18
Aserrín de cajonería	10	15,40	1,80	7,00	24,00	5,70	37,01
Bagazo de caña	10	6,90	1,27	2,00	14,00	4,01	58,15

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

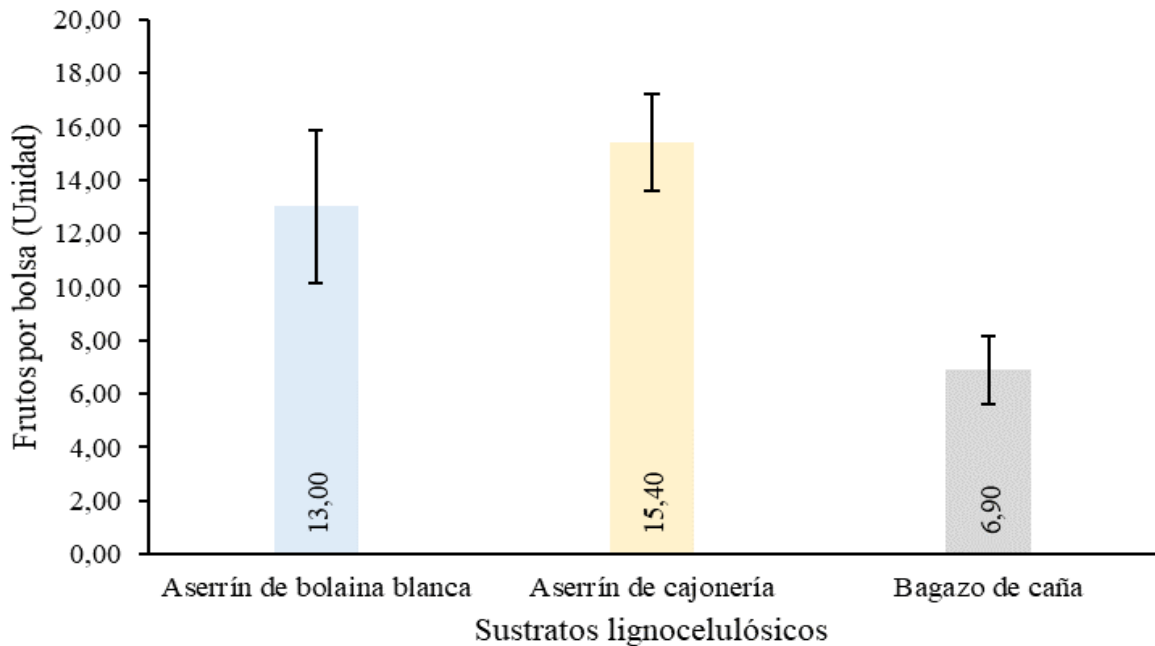


Figura 12. Número de frutos por bolsa del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para el número de frutos por bolsa de *L. edodes* muestra que el tipo de sustrato tiene un efecto significativo ($p = 0,021$) con un valor F de 4,449, indicando que las diferencias entre los tratamientos no son producto del azar. Sin embargo, el coeficiente de variación es elevado (55,83%), lo que sugiere una alta dispersión en los datos y posibles influencias de factores no controlados. Estos resultados destacan la necesidad de una selección precisa del sustrato para mejorar la producción, optimizando las condiciones de cultivo y reduciendo la variabilidad en el rendimiento de los hongos.

Tabla 23. Análisis de varianza para el número de frutos por bolsa del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	384,067	2	192,033	4,449	0,021*
Error experimental	1 165,300	27	43,159		
Total	1 549,367	29			

CV: 55,83%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey revela diferencias significativas en el número de frutos por bolsa de *L. edodes* en función del sustrato

lignocelulósico utilizado ($p < 0,05$). El aserrín de cajonería presentó el mayor número de frutos (15,40), seguido del aserrín de bolaina blanca (13,00), sin diferencias significativas entre ellos. En contraste, el bagazo de caña mostró el menor número de frutos (6,90), con diferencias significativas respecto a los otros tratamientos. Estos resultados sugieren que los aserrines favorecen una mayor fructificación, probablemente debido a su mayor capacidad para retener humedad y liberar nutrientes de manera gradual, lo que optimiza el desarrollo del hongo, siendo corroborado en cierta medida lo expresado por Stamets (1993) al señalar que esta especie suele crecer en tejidos necrosados de árboles de madera dura y hoja ancha, pero cantidades superiores logró encontrar Figueroa (2020) al utilizar un sustrato compuesto por 40% de aserrín de eucalipto y 60% de tusa de maíz donde la media fue de 60 frutos cosechados distribuidos en dos oleadas, siendo necesario el uso de sustratos compuestos ya que al emplear bagazo de caña en el aserrín de eucalipto en la misma proporción del sustrato anterior logró producir en promedio 24 frutos, muy por encima de lo encontrado en el presente estudio.

Tabla 24. Prueba Tuckey para el número de frutos por bolsa del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Aserrín de cajonería	10	15,40	a
2	Aserrín de bolaina blanca	10	13,00	ab
3	Bagazo de caña	10	6,90	b

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

4.2.6. Periodo de producción o ciclo de cultivo

4.2.6.1. Inicio de la cosecha

El análisis del inicio de la cosecha de frutos de *L. edodes* en distintos sustratos lignocelulósicos demuestra diferencias significativas en el tiempo requerido para la fructificación, lo que sugiere que la composición del sustrato influye en el desarrollo del hongo. El bagazo de caña mostró el menor tiempo promedio para la cosecha (115,80 días), lo que indica que este sustrato permite una producción más rápida. Sin embargo, su alta variabilidad ($CV=15,35\%$) sugiere que el tiempo de fructificación es inconsistente, con valores que oscilan entre 83 y 137 días. La ligera variación el tiempo de inicio de las cosechas en algunos tratamientos posiblemente fue atribuido a la variación de las condiciones de temperatura y humedad que se registró en los meses de ejecución del estudio (**Figuras 1 y 2**).

En contraste, el aserrín de cajonería registró el menor tiempo de variabilidad ($CV=2,32\%$) y un inicio de cosecha promedio de 133,50 días, lo que sugiere que este sustrato proporciona condiciones más estables y predecibles para la producción. Por otro lado, el aserrín de bolaina blanca presentó el mayor tiempo promedio para la fructificación (157,70 días) y una variabilidad intermedia ($CV=11,64\%$), lo que indica que, aunque la cosecha es más tardía, los resultados son relativamente consistentes (**Tabla 25** y **Figura 13**). Estos resultados son inferiores a lo encontrado por Figueroa (2020) en donde reporta que el crecimiento y desarrollo del carpóforo ocurrió entre los 91 a 93 días de haberse realizado la inoculación al utilizar distintos sustratos que presentaban como base diferentes proporciones de aserrín de eucalipto (40%, 60% y 80%), evidenciando que este comportamiento se ve fuertemente influenciada como uno de los factores al valor del pH en el sustrato, que es regulado comúnmente por la adición entre el 1,0% hasta el 2,0% de $CaCO_3$ como controlador del nivel de pH, la cual disminuyó en el menor tiempo de desarrollo de los hongos que fue de 70 días; además, otro aspecto del tiempo de colonización micelial es afectado por su capacidad de biodegradación que presenta el hongo a producir en los diferentes residuos forestales y agrícolas, que en el caso del presente estudio fue al emplear como sustrato al bagazo de caña.

El tiempo promedio de inicio de cosecha observada se registró a los 135,67 días, lo que refleja la influencia del tipo de sustrato en la velocidad de producción, valores del tiempo que superan a lo obtenido por Desisa et al. (2023), en donde al utilizar como sustrato una proporción del 80% bagazo de caña de azúcar con 20% estiércol de gallina obtuvo la primera cosecha a los 69,65 días en una sala controlada. Estos resultados sugieren que el bagazo de caña es una opción viable para reducir el tiempo de cosecha de *L. edodes*, pero con variabilidad considerable, mientras que el aserrín de cajonería ofrece mayor estabilidad en los tiempos de producción, siendo una alternativa más confiable para cultivos a mayor escala.

Tabla 25. Estadígrafos para el inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	157,70	5,81	135,00	177,00	18,36	11,64
Aserrín de cajonería	10	133,50	0,98	128,00	137,00	3,10	2,32
Bagazo de caña	10	115,80	5,62	83,00	137,00	17,78	15,35

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

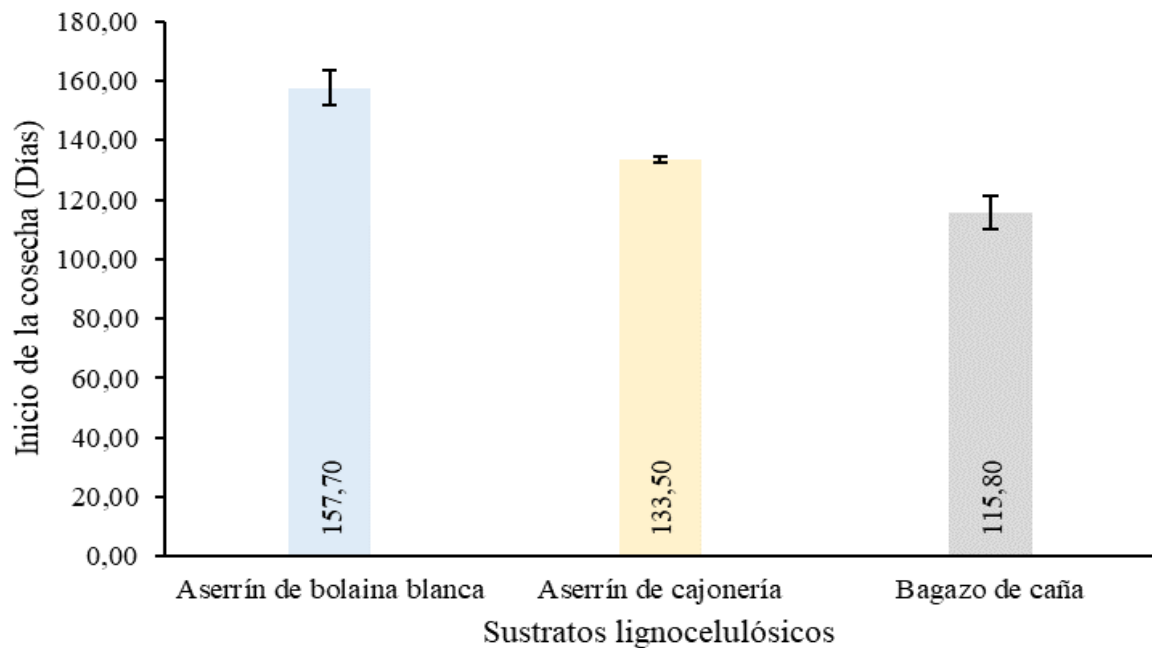


Figura 13. Inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de la varianza realizado para la variable inicio de la cosecha de *L. edodes* revela un efecto significativo por parte de los sustratos lignocelulósicos utilizados ($p < 0,05$) con un valor F de 20,029, lo que confirma que el tipo de sustrato que se sometió en el estudio influye en el tiempo necesario para la aparición de los primeros cuerpos fructíferos. El coeficiente de variación que fue del 10,96%, indica una variabilidad moderada en los datos, lo que sugiere cierta influencia de otros factores ambientales como es la temperatura y humedad que fueron registrados durante los meses de la ejecución del estudio (**Figuras 1 y 2**). La elección del sustrato adecuado puede optimizar el inicio de la producción, permitiendo cosechas más tempranas y eficientes, lo que es clave para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del cultivo artesanal.

Tabla 26. Análisis de varianza para el inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	8 848,467	2	4 424,233	20,029	<0,001*
Error experimental	5 964,200	27	220,896		
Total	14 812,667	29			

CV: 10,96%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey muestra diferencias significativas ($p < 0,05$) en los días de inicio de la cosecha de *L. edodes* en diferentes sustratos lignocelulósicos. El aserrín de bolaina blanca presentó el mayor retraso, con una media de 157,7 días para el inicio de la cosecha, seguido por el aserrín de cajonería (133,5 días). El bagazo de caña mostró el tiempo más corto (115,8 días), lo que sugiere que este sustrato facilita un desarrollo más rápido del hongo, resultados de periodos similares y más prolongados registraron Romero et al. (2015) al utilizar sustratos conformados por distintas proporciones de aserrín de *Quercus* sp., rastrojo de *Z. mays*, elote de *Z. mays*, yeso y agua, donde el periodo transcurrido para que se dé la primera cosecha fluctuó desde 135 días en el C-Agro 2 (60 kg de aserrín) hasta 180 días en el C-Agro 1 (40 kg de aserrín), posiblemente al menor contenido de aserrín de este último sustrato. Estos resultados indican que el tipo de sustrato impacta significativamente en la velocidad de fructificación, siendo el bagazo de caña más eficiente en este aspecto.

Tabla 27. Prueba Tuckey para el inicio de la cosecha de frutos (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Aserrín de bolaina blanca	10	157,70	a
2	Aserrín de cajonería	10	133,50	b
3	Bagazo de caña	10	115,80	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

4.2.6.2. Final del cultivo

El análisis del ciclo de cultivo de *L. edodes* en diferentes sustratos lignocelulósicos revela variaciones significativas en la duración total del proceso productivo, lo que sugiere que la composición del sustrato influye en el tiempo requerido para completar el ciclo de cultivo. El aserrín de cajonería presentó el mayor tiempo promedio de cultivo (175,60 días) con la menor variabilidad ($CV=3,31\%$), lo que indica que este sustrato proporciona condiciones más estables y uniformes para el crecimiento del hongo. En contraste, el bagazo de caña registró el menor tiempo promedio de ciclo (160,30 días), pero con la mayor variabilidad ($CV=7,53\%$), reflejando una mayor heterogeneidad en la duración del proceso, posiblemente debido a variaciones en la composición química o retención de humedad del sustrato. Por otro lado, el aserrín de bolaina blanca mostró un tiempo intermedio de cultivo (172,00 días) con una variabilidad moderada ($CV=6,30\%$), lo que sugiere que su

comportamiento es relativamente predecible, aunque menos uniforme que el del aserrín de cajonería (**Tabla 28** y **Figura 14**).

El ciclo promedio del cultivo fue de 169,30 días, lo que confirma que el sustrato juega un papel clave en la estabilidad y duración del proceso productivo, este periodo es inferior a lo que Stamets y Chilton (1983) reportan en donde prolongan solamente la cosecha hasta los 112 días, posiblemente de acuerdo a la técnica empleada. Estos resultados sugieren que el aserrín de cajonería es la mejor opción para garantizar un ciclo de cultivo estable y predecible, mientras que el bagazo de caña permite una producción más rápida, aunque con mayor variabilidad, lo que podría afectar la planificación y eficiencia del cultivo a gran escala.

Tabla 28. Estadígrafos para el ciclo del cultivo (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina blanca	10	172,00	3,43	144,00	183,00	10,84	6,30
Aserrín de cajonería	10	175,60	1,84	161,00	181,00	5,82	3,31
Bagazo de caña	10	160,30	3,82	138,00	171,00	12,07	7,53

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

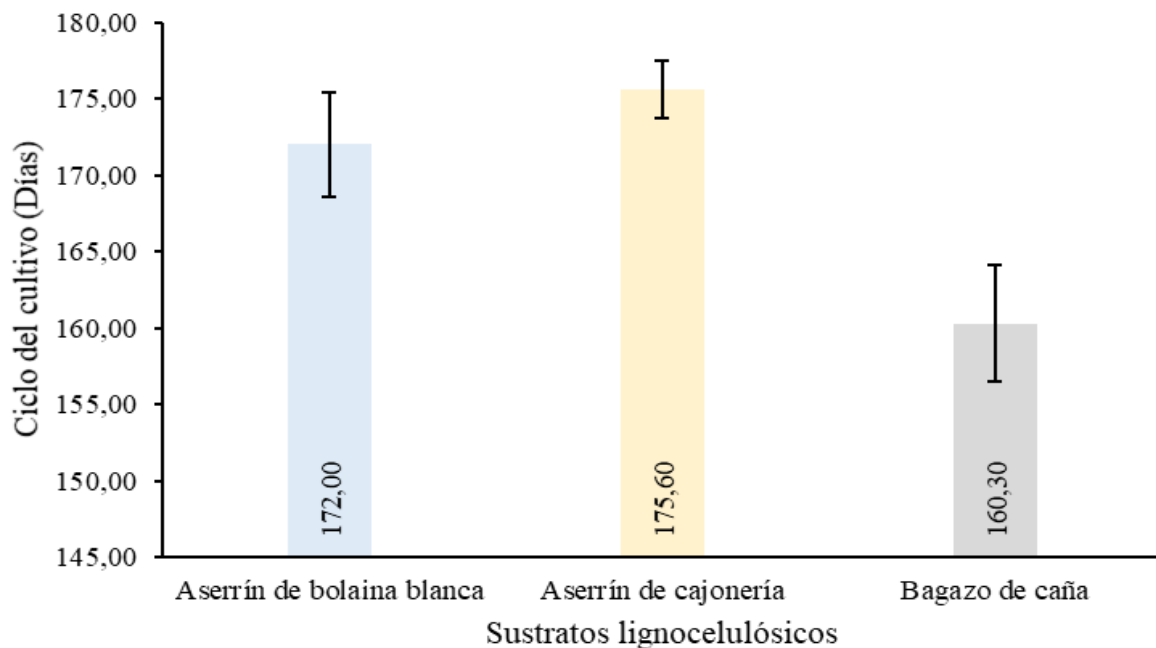


Figura 14. Ciclo del cultivo (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de la varianza para el ciclo del cultivo de *L. edodes* en distintos sustratos lignocelulósicos muestra un efecto significativo ($p = 0,05$) con un valor F de 6,465, lo que indica que el sustrato influye en la duración del ciclo de producción. El coeficiente de variación (5,88%) sugiere una variabilidad moderada en los datos. Esto implica que la selección del sustrato no solo afecta la calidad del hongo, sino también la eficiencia del proceso productivo. Optimizar el sustrato podría reducir el tiempo de cosecha y mejorar la rentabilidad, lo que es clave para una producción sostenible y competitiva.

Tabla 29. Análisis de varianza para el ciclo del cultivo (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	1 279,800	2	639,900	6,465	0,005*
Error experimental	2 672,500	27	98,981		
Total	3 952,300	29			

CV: 5,88%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey revela diferencias significativas ($p < 0,05$) en la duración del ciclo de cultivo de *L. edodes* según el sustrato utilizado. El aserrín de cajonería (175,6 días) y el aserrín de bolaina blanca (172 días) no mostraron diferencias estadísticas entre sí, indicando que ambos prolongan el periodo productivo del hongo. En contraste, el bagazo de caña presentó un ciclo significativamente más corto (160,3 días), lo que sugiere que este sustrato acelera el proceso de producción, pero podría reducir la cantidad total de cosechas, resultados de periodos más prolongados registraron Romero et al. (2015) al utilizar sustratos conformados por distintas proporciones de aserrín de *Quercus* sp., rastrojo de *Z. mays*, elote de *Z. mays*, yeso y agua, donde el periodo transcurrido hasta que culmine la tercera cosecha fluctuó desde 180 días en el C-Agro 2 hasta 265 días en el C-Agro 1, posiblemente debido a los compuestos de los sustratos que presentan distintos grados de rapidez para poder ser colonizados por esta especie de hongo comestible. La elección del sustrato debe equilibrar duración y productividad del cultivo.

El menor ciclo del cultivo fue de 160,30 días (**Tabla 30**), valor superior a lo registrado por Holgado-Rojas et al. (2019) quienes utilizaron como sustrato al aserrín de eucalipto (80%) más salvado de trigo (18%) más yeso (1%) y cal (1%), siendo ejecutado el cultivo bajo condiciones artesanales similares al presente estudio en donde encontró que el ciclo de cultivo en la comunidad San Nicolás de Bari - Cusco (3 405 msnm)

fue de 135 días, mientras que en la comunidad de Harin – Cusco (2 929 msnm) fue de 155 días, pudiendo ser uno de los factores que influyen en el ciclo del cultivo la gradiente altitudinal, ya que en la comunidad de Huayllay no logró proliferar esta especie de hongo comestible por encontrarse a una altitud de 3 665 msnm y los autores atribuyeron que la limitante de la fructificación fueron las bajas temperaturas del medio.

Tabla 30. Prueba Tuckey para el ciclo del cultivo (días) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Aserrín de cajonería	10	175,60	a
2	Aserrín de bolaina blanca	10	172,00	a
3	Bagazo de caña	10	160,30	b

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

4.3. Humedad, grasa, proteína y carbohidratos del hongo comestible *L. edodes* producidos artesanalmente con diferentes sustratos

4.3.1. Humedad

El análisis de la humedad en *L. edodes* cultivado en diferentes sustratos lignocelulósicos evidencia variaciones significativas en el contenido de agua del hongo, lo que sugiere que la composición del sustrato influye en la retención de humedad del producto final. El aserrín de cajonería presentó el mayor porcentaje de humedad (6,04%) con una variabilidad nula ($CV=0,00\%$), indicando que este sustrato proporciona condiciones homogéneas en la absorción y retención de agua. En contraste, el bagazo de caña registró el menor contenido de humedad (4,39%) con una ligera variabilidad ($CV=0,13\%$), lo que sugiere que este sustrato puede generar hongos con menor retención de agua, posiblemente debido a su estructura más fibrosa y menor capacidad de retención hídrica. El aserrín de bolaina blanca mostró un valor intermedio (5,66%) con una variabilidad mínima ($CV=0,10\%$), reflejando estabilidad en la humedad del hongo producido en este sustrato (**Tabla 31** y **Figura 15**). Resultados contrarios lo reportan Holgado-Rojas et al. (2019) al realizar la producción de *L. edodes* utilizando como sustrato al aserrín de eucalipto (80%) más salvado de trigo (18%), yeso (1%) y cal (1%) en la región Cusco, posterior a la cosecha determinaron el contenido de humedad encontrando promedios de 14,1% en la comunidad San Nicolás de Bari que se ubica a 3 405 msnm y 86,31% en la comunidad de Harin que se localiza a 2 929 msnm, diferencias atribuidas posiblemente a que algunos factores como la

humedad ambiental haya repercutido sobre la capacidad de retener humedad, además, otro de los factores puede ser que los hongos cosechados posean un estado muy maduro ya que suelen perder más agua debido a la transpiración prolongada, razón por la cual se recomienda cosechar en el momento óptimo (cuando el púleo está bien expandido pero sin sobremadurar) permite una mejor retención de humedad.

Tabla 31. Estadígrafos para la humedad (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina	3	5,66	0,00	5,66	5,67	0,01	0,10
Aserrín de cajonería	3	6,04	0,00	6,04	6,04	0,00	0,00
Bagazo de caña	3	4,39	0,00	4,39	4,40	0,01	0,13

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

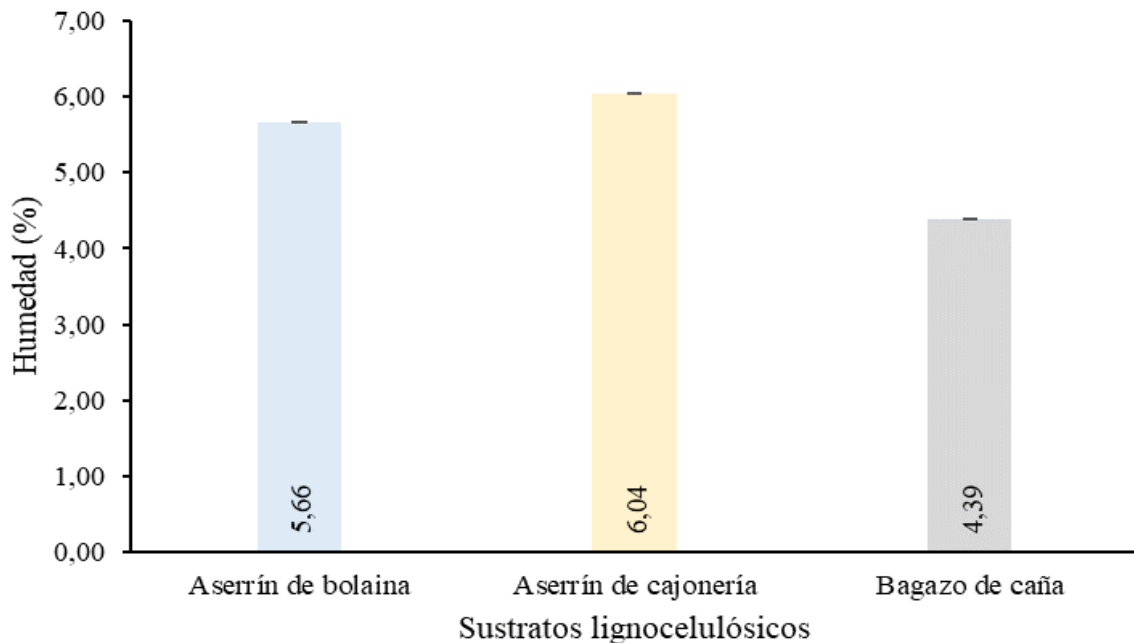


Figura 15. Humedad (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para el contenido de humedad en *L. edodes* cultivado en diferentes sustratos lignocelulósicos muestra diferencias significativas ($p < 0,05$), con un valor F extremadamente alto (10 0491,5). Esto indica que el tipo de sustrato influye significativamente en la retención de humedad del hongo. Además, el coeficiente de variación (0,09%) revela una mínima dispersión de los datos, lo que refuerza la confiabilidad del

experimento, no existiendo influencia de las condiciones de temperatura y humedad que fueron registrados durante los meses de la ejecución del estudio (**Figuras 1 y 2**). Estos resultados sugieren que la elección del sustrato es un factor clave en la calidad del hongo, ya que la humedad influye en su textura, vida útil y aceptabilidad comercial.

Tabla 32. Análisis de varianza para la humedad (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	4,466	2	2,233	10 0491,500	<0,001*
Error experimental	0,000	6	0,000		
Total	4,466	8			

CV: 0,09%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey revela diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de humedad de *L. edodes* según el sustrato utilizado. El aserrín de cajonería presentó el mayor contenido de humedad (6,04 %), seguido del aserrín de bolaina blanca (5,66 %), mientras que el bagazo de caña mostró el menor valor (4,39 %). Resultado superior lo reporta Figueroa (2020) al producir *L. edodes* donde utilizó como sustrato aserrín de eucalipto en 40% mezclado con un 60% de la fibra de coco que dio una producción que contenía 94,57% de humedad, esta diferencia marcada es debido a que en el presente estudio se utilizó hongos ya deshidratados debido a que se guardó para los análisis proximales. Estos resultados sugieren que la capacidad de retención de humedad del sustrato influye en la composición del hongo, posiblemente afectando su textura y calidad comercial. La elección del sustrato debe considerar este factor para optimizar la producción y las características del producto final.

Tabla 33. Prueba Tuckey para la humedad (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Aserrín de cajonería	3	6,04	a
2	Aserrín de bolaina	3	5,66	b
3	Bagazo de caña	3	4,39	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

4.3.2. Grasa

El análisis del contenido de grasa en *L. edodes* cultivado en distintos sustratos lignocelulósicos muestra una variabilidad mínima entre los tratamientos, lo que indica que la fuente del sustrato tiene un impacto limitado en la acumulación de lípidos en el hongo. El mayor contenido de grasa se observó en los hongos cultivados en aserrín de bolaina blanca (2,55%), seguido por los del aserrín de cajonería (2,45%), mientras que el menor valor se registró en los provenientes del bagazo de caña (2,07%), estos resultados se encuentran dentro del rango señalado por Stamets (1993) citando a los valores desde los 2,0% hasta los 5,0%, pero superan al reporte por parte de Moreiras et al. (2014) que registró un 0,49%. La variabilidad dentro de cada sustrato fue nula (CV=0,00%), lo que indica una alta homogeneidad en los valores obtenidos, reflejando un control estable de las condiciones de producción (**Tabla 34** y **Figura 16**). Resultado superior encontró Figueroa (2020) al utilizar como sustrato aserrín de eucalipto en 40% mezclada con la fibra de coco en un 60% registrando que el contenido lipídico fue del 5,15%, estos bajos valores son nutricionalmente valiosas, ya que aporta ácidos grasos esenciales, influye en la calidad organoléptica y tiene beneficios para la salud, especialmente en la reducción del colesterol y la prevención de enfermedades cardiovasculares; esto convierte a *L. edodes* en una excelente opción dentro de una dieta equilibrada y saludable.

Sin embargo, a nivel general, el coeficiente de variación fue bajo, lo que sugiere cierta diferencia entre los sustratos (**Tabla 34**). Esta diferencia podría estar asociada a la composición química y capacidad de retención de nutrientes de cada material lignocelulósico. La mayor cantidad de grasa en los hongos cultivados en aserrín de bolaina podría estar vinculada a una mejor disponibilidad de compuestos necesarios para la biosíntesis de lípidos, mientras que el bagazo de caña, con el menor contenido de grasa, podría presentar una menor biodisponibilidad de precursores lipídicos.

Tabla 34. Estadígrafos para la grasa (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina	3	2,55	0,00	2,55	2,55	0,00	0,00
Aserrín de cajonería	3	2,45	0,00	2,45	2,45	0,00	0,00
Bagazo de caña	3	2,07	0,00	2,07	2,07	0,00	0,00

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación.

La cantidad promedio de grasa no superó 2,55% (**Figura 16**), resultado ligeramente superior encontraron Holgado-Rojas et al. (2019) al utilizar aserrín de eucalipto (80%) más salvado de trigo (18%) más yeso (1%) y cal (1%) donde el valor fue 2,79%.

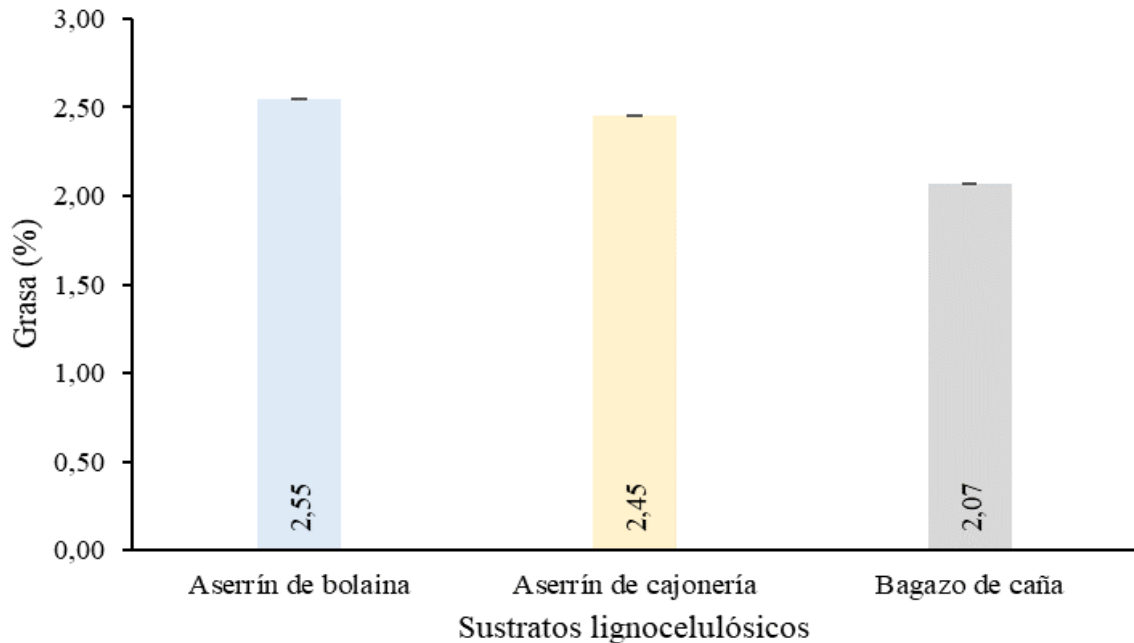


Figura 16. Grasa (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para el contenido de grasa en *L. edodes* cultivado en distintos sustratos lignocelulósicos revela que la variabilidad atribuida al factor sustrato es mínima, con una suma de cuadrados total de 0,385. Sin embargo, la falta de un valor F calculado y de un p-valor impide determinar la significancia estadística de la diferencia entre tratamientos. Además, el coeficiente de variación (CV) de 0,00% indica una homogeneidad absoluta en los datos, lo que sugiere una respuesta uniforme del hongo en términos de acumulación de grasa, sin importar el sustrato utilizado en su producción.

Tabla 35. Análisis de varianza para la grasa (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	0,385	2	0,192		
Error experimental	0,000	6	0,000		
Total	0,385	8			

CV: 0,00%.

4.3.3. Proteína

El contenido de proteína en *L. edodes* varió significativamente según el sustrato utilizado, destacando el bagazo de caña con el mayor valor promedio (28,35%), seguido del aserrín de cajonería (22,01%) y, en último lugar, el aserrín de bolaina blanca con un 21,09% (**Tabla 36** y **Figura 17**); a pesar que los valores superan a lo descrito por Stamets (1993) en donde la proteína contenida por esta especie fluctúa entre un 13% a 18%, esta diferencia sugiere que el bagazo de caña proporciona una composición química más favorable para la biosíntesis de proteínas, posiblemente debido a un mayor contenido de nitrógeno disponible o a una mejor retención de humedad, favoreciendo el metabolismo fúngico; caso diferente ocurre en el sustrato de aserrín de bolaina posiblemente a que exista una mayor proporción del xilema respecto a la corteza, ya que para Mushroom growers (2005), la corteza de los árboles contienen alrededor del 3,8% hasta 5,0% de nitrógeno y la parte del xilema solamente posee entre 0,4% hasta 0,5% de nitrógeno, siendo este elemento parte estructural de los aminoácidos.

La homogeneidad en los datos dentro de cada sustrato es notable, con coeficientes de variación extremadamente bajos (0,00% para bagazo de caña y aserrín de bolaina, y solo 0,08% para aserrín de cajonería), lo que indica estabilidad en la producción proteica dentro de cada tratamiento (**Tabla 36** y **Figura 17**), lo cual determina que las condiciones de temperatura y humedad que fueron registrados durante los meses de la ejecución del estudio (**Figuras 1** y **2**) no suelen repercutir en esta variable. Sin embargo, al considerar el total de datos donde la media es 23,82%, el coeficiente de variación se eleva a 14,37%, lo que refleja la marcada diferencia entre sustratos; este valor es ligeramente superior al reporte de Figueroa (2020) quien utilizó un sustrato combinando el aserrín de eucalipto en 40% y 60% de la fibra de coco donde la proteína fue del 21,20%, esto es ventajoso en *L. edodes* ya que es una fuente proteica valiosa, rica en aminoácidos esenciales y con múltiples beneficios para la salud; su alta digestibilidad, bajo impacto ambiental y aplicaciones en la industria alimentaria los convierten en un alimento clave para la nutrición y la sostenibilidad. Este hallazgo es relevante para la producción de hongos con fines comerciales y nutricionales, ya que un mayor contenido de proteína aumenta el valor nutricional del producto, haciéndolo más atractivo para consumidores que buscan alternativas ricas en proteínas de origen no animal. Así, el bagazo de caña se perfila como el sustrato más adecuado para mejorar la calidad proteica de *L. edodes*, lo que puede ser clave en la selección de materias primas para optimizar el rendimiento nutricional en cultivos de hongos comestibles.

Tabla 36. Estadígrafos para la proteína (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina	3	21,09	0,00	21,09	21,09	0,00	0,00
Aserrín de cajonería	3	22,01	0,01	21,99	22,02	0,02	0,08
Bagazo de caña	3	28,35	0,00	28,35	28,35	0,00	0,00

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

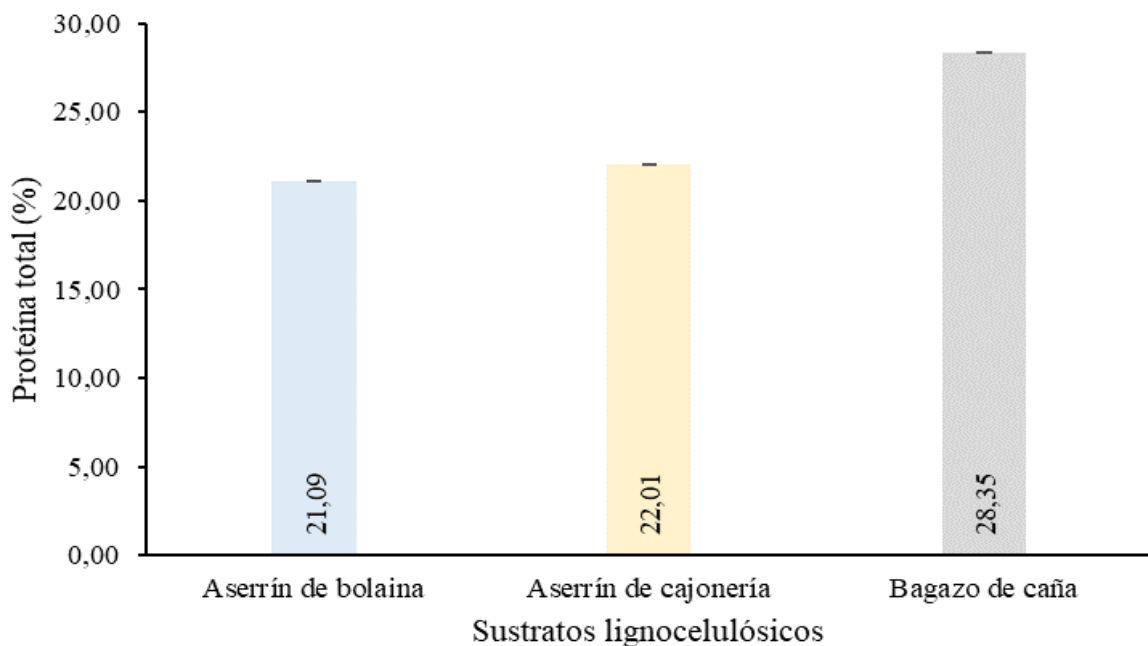


Figura 17. Proteína (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza muestra una diferencia significativa ($p < 0,05$) en el contenido de proteína cruda de *L. edodes* en función del sustrato lignocelulósico utilizado, con un valor F extremadamente alto (468 748,000). Este resultado indica que la elección del sustrato influye de manera determinante en la síntesis de proteínas en el hongo. Además, el coeficiente de variación (0,04%) es muy bajo, lo que demuestra una alta precisión en los datos y mínima variabilidad dentro de los tratamientos. Estos hallazgos refuerzan la importancia de optimizar los sustratos para mejorar el valor nutricional y la calidad del hongo en producción artesanal.

Tabla 37. Análisis de varianza para la proteína (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	93,750	2	46,875	468 748,000	<0,001*
Error experimental	0,001	6	0,000		
Total	93,750	8			

CV: 0,04%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey muestra diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de proteína de *L. edodes* en función del sustrato utilizado. El bagazo de caña presentó el mayor contenido proteico (28,35 %), seguido del aserrín de cajonería (22,01 %) y el aserrín de bolaina blanca (21,09 %), valores inferiores a lo reportado por Moreiras et al. (2014) que solamente registra un 2,24%. Estos resultados sugieren que el bagazo de caña aporta nutrientes esenciales para una mayor biosíntesis de proteínas en el hongo ya que Mata et al. (2020) aclaran que, por medio del micelio que moviliza los nutrientes almacenados en los sustratos, siempre en cuando se tenga condiciones adecuadas de temperatura y humedad. Este hallazgo resalta la importancia de seleccionar sustratos adecuados para optimizar el valor nutricional del producto, beneficiando su comercialización y potencial consumo como alimento funcional, ya que Holgado-Rojas et al. (2019) al utilizar como sustrato al aserrín de eucalipto (80%) más salvado de trigo (18%), yeso (1%) y cal (1%) lograron producir *L. edodes* con 24,21% de proteínas en la comunidad de San Nicolás de Bari y 34,54% de proteínas en la comunidad de Harín diferenciados por 476 msnm, esta diferencia del valor proteico se deba a que los componentes como el aserrín del eucalipto o salvado de trigo posean diferencias en sus componentes nutricionales debido al lugar donde se encontraban plantados o también posiblemente la edad de los árboles que presentaban al momento de talarlos.

Tabla 38. Prueba Tukey para la proteína (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Bagazo de caña	3	28,35	a
2	Aserrín de cajonería	3	22,01	b
3	Aserrín de bolaina	3	21,09	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

4.3.4. Carbohidratos

El análisis del contenido de carbohidratos en *L. edodes* cultivado en diferentes sustratos lignocelulósicos revela variaciones significativas entre los tratamientos. El aserrín de bolaina blanca mostró el mayor contenido promedio de carbohidratos (65,44%), seguido del aserrín de cajonería (63,85%) y, finalmente, el bagazo de caña (59,36%). Estos valores sugieren que la composición química del sustrato influye directamente en la acumulación de carbohidratos en los cuerpos fructíferos del hongo, probablemente debido a diferencias en la disponibilidad de fuentes de carbono o en la eficiencia de degradación de la materia orgánica por parte del micelio. La baja variabilidad dentro de cada sustrato, evidenciada por coeficientes de variación extremadamente bajos (0,01% para aserrín de bolaina y bagazo de caña, y 0,06% para aserrín de cajonería), indica que el crecimiento de los hongos fue uniforme bajo condiciones controladas (**Tabla 39** y **Figura 18**). Resultado similar registraron Holgado-Rojas et al. (2019) al utilizar como sustrato al aserrín de eucalipto (80%) más salvado de trigo (18%) más yeso (1%) y cal (1%) en donde el valor de los carbohidratos fue 65,79%, pero cuando replicó el estudio en otro lugar encontró un valor del 52,87% esto debido posiblemente a la calidad del aserrín o salvado de trigo que también presentan variaciones nutricionales.

Sin embargo, al analizar el conjunto de datos, se observa el reflejo de diferencias sustanciales en la acumulación de carbohidratos entre los sustratos. Este resultado es relevante para la producción comercial de *L. edodes*, ya que un mayor contenido de carbohidratos podría influir en la textura y el sabor del hongo, atributos clave en su aceptación por los consumidores. En este contexto, el uso de aserrín de bolaina blanca parece ser la mejor opción para maximizar el contenido de carbohidratos, lo que puede ser ventajoso en mercados donde se valora la calidad sensorial y energética del producto.

Tabla 39. Estadígrafos para los carbohidratos (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina	3	65,44	0,00	65,44	65,45	0,01	0,01
Aserrín de cajonería	3	63,85	0,02	63,83	63,90	0,04	0,06
Bagazo de caña	3	59,36	0,00	59,35	59,36	0,01	0,01

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

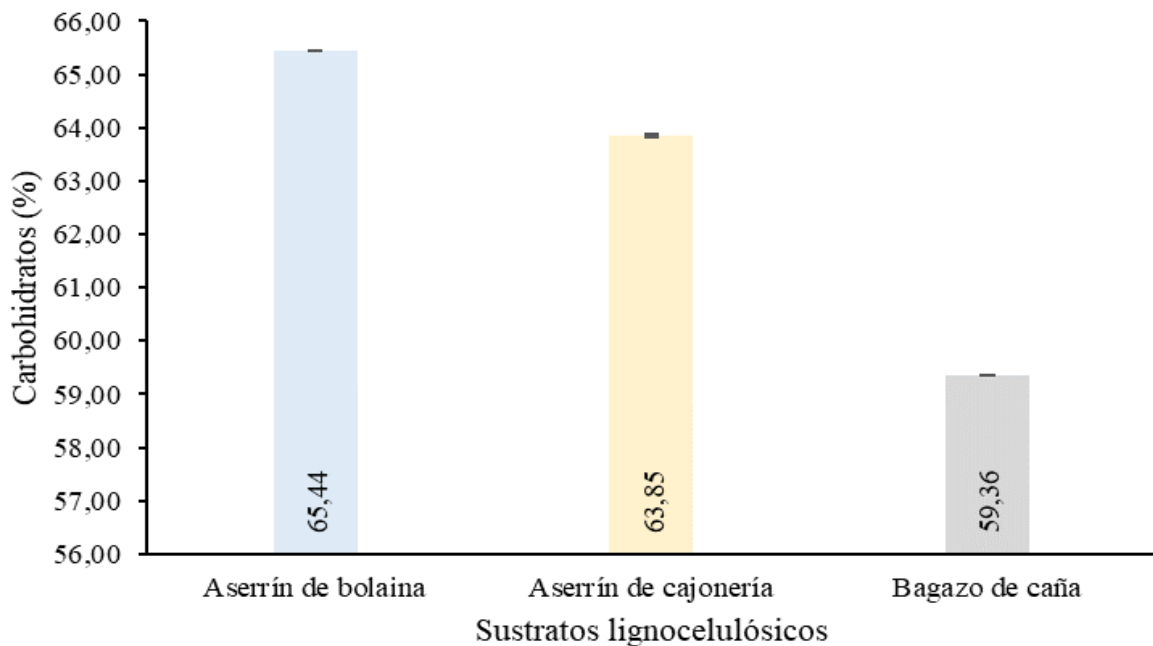


Figura 18. Carbohidratos (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza revela una diferencia significativa ($p < 0,05$) en el contenido de carbohidratos de *L. edodes* según el sustrato lignocelulósico utilizado, con un valor F extremadamente alto (52 760,843). Esto indica que la composición del sustrato influye de manera determinante en la acumulación de carbohidratos en los hongos. El coeficiente de variación (0,04%) muestra una mínima variabilidad dentro de los tratamientos, lo que fortalece la fiabilidad de los resultados. Estos hallazgos sugieren que la elección del sustrato no solo afecta la producción, sino también el perfil nutricional del hongo, aspecto clave para mejorar su valor comercial y funcional.

Tabla 40. Análisis de varianza para los carbohidratos (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	59,796	2	29,898	52 760,843	<0,001*
Error experimental	0,003	6	0,001		
Total	59,799	8			

CV: 0,04%; **: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis de la prueba de Tukey revela diferencias significativas ($p < 0,05$) en el contenido de carbohidratos de *L. edodes* según el sustrato utilizado. El aserrín de bolaina blanca presentó el mayor contenido (65,44 %), seguido del aserrín de cajonería (63,85 %) y el bagazo de caña (59,36 %). Esto sugiere que la composición química del aserrín de bolaina favorece la acumulación de carbohidratos en el hongo, posiblemente debido a una disponibilidad más eficiente de polisacáridos estructurales, estos valores superan a lo reportado por Figueroa (2020) que al utilizar como sustrato al aserrín de eucalipto en proporción del 40% y un 60% de la fibra de coco registró un valor del 45,00% correspondiente a los carbohidratos totales. Este hallazgo es relevante para la producción comercial, ya que un mayor contenido de carbohidratos puede influir en la calidad nutricional y organoléptica del producto.

Tabla 41. Prueba Tuckey para los carbohidratos (%) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Aserrín de bolaina	3	65,44	a
2	Aserrín de cajonería	3	63,85	b
3	Bagazo de caña	3	59,36	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$).

4.4. Valor energético del hongo comestible *L. edodes* producidos artesanalmente con diferentes sustratos

El análisis del valor energético en *L. edodes* cultivado en diferentes sustratos lignocelulósicos muestra una variabilidad mínima entre los tratamientos, aunque con diferencias que pueden ser relevantes para la producción y comercialización del hongo. El mayor valor energético promedio se obtuvo en los hongos cultivados sobre aserrín de bolaina blanca (351,46 kcal/100 g), seguido del aserrín de cajonería (346,36 kcal/100 g) y, en último lugar, el bagazo de caña (340,90 kcal/100 g) (**Tabla 42** y **Figura 19**). Estas diferencias pueden atribuirse a la composición química de los sustratos y su capacidad para aportar compuestos energéticos asimilables por el micelio, ya que, Figueroa (2020) al emplear como sustrato aserrín de eucalipto en 40% y 60% de la fibra de coco registró un valor de 287,65 kcal/100 g, muy inferior a lo encontrado en el presente estudio.

A pesar de que la desviación estándar dentro de cada sustrato es extremadamente baja (máximo 0,12), el coeficiente de variación general (1,32%) indica cierta heterogeneidad

en el valor energético global del estudio, lo que sugiere que el tipo de sustrato influye en la acumulación de macronutrientes que determinan la energía total del hongo. Estos resultados tienen implicancias para la selección de sustratos en la producción comercial de *L. edodes*, ya que un mayor valor energético podría ser un atributo deseable en mercados que priorizan el contenido nutricional. Desde una perspectiva aplicada, el aserrín de bolaina blanca se posiciona como el mejor sustrato para maximizar el valor energético del hongo, mientras que el bagazo de caña, aunque viable, genera un producto con menor densidad calórica. Por lo tanto, la elección del sustrato debe considerar tanto la disponibilidad del material como los objetivos específicos del productor en función del perfil nutricional deseado.

Tabla 42. Estadígrafos para el valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	EE	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
Aserrín de bolaina	3	351,46	0,01	351,45	351,49	0,02	0,01
Aserrín de cajonería	3	346,36	0,07	346,28	346,50	0,12	0,04
Bagazo de caña	3	340,90	0,01	340,87	340,91	0,02	0,01

EE: Error estándar de la media; DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

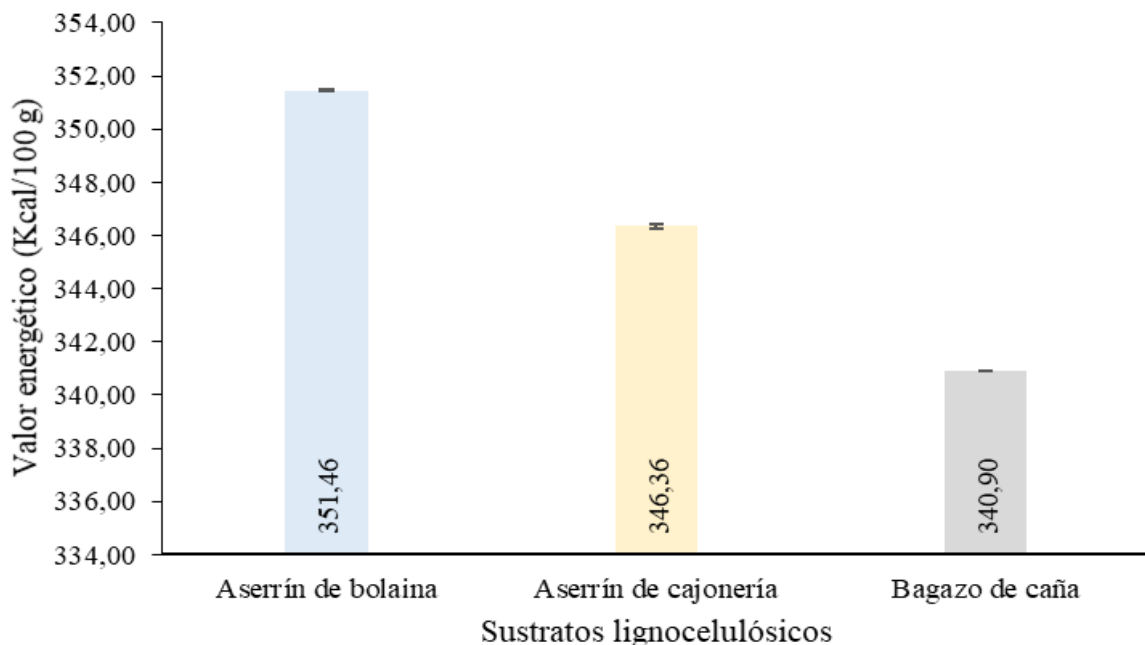


Figura 19. Valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

El análisis de varianza para el valor energético de *L. edodes* en distintos sustratos lignocelulósicos muestra una diferencia significativa ($p < 0,05$), lo que confirma que la composición del sustrato influye directamente en la calidad energética del hongo. La elevada F calculada (15 083,604) indica una clara diferenciación entre tratamientos, mientras que el coeficiente de variación (CV) de 0,02% sugiere una mínima variabilidad experimental. Estos resultados resaltan la importancia de optimizar el sustrato, pues una adecuada selección puede mejorar la eficiencia nutricional del producto final, beneficiando tanto a productores como a consumidores en términos de calidad y valor comercial.

Tabla 43. Análisis de varianza para el valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Sustratos lignocelulósicos	167,345	2	83,672	15 083,604	<0,001*
Error experimental	0,033	6	0,006		
Total	167,378	8			

CV: 0,02%; *: Significativo al 95% de confiabilidad.

El análisis estadístico mediante la prueba de Tukey indica diferencias significativas ($p < 0,05$) en el valor energético de *L. edodes* según el sustrato empleado. El aserrín de bolaina blanca presentó el mayor valor energético (351,46 kcal/100 g), seguido del aserrín de cajonería (346,36 kcal/100 g) y el bagazo de caña (340,90 kcal/100 g). Estos resultados sugieren que la composición química del aserrín de bolaina favorece una mayor acumulación de macronutrientes energéticos en el hongo, probablemente debido a una mejor disponibilidad de carbono estructural. Resultados diferentes a pesar de utilizar la misma formulación del sustrato lo reportan Holgado-Rojas et al. (2019) quienes mezclaron aserrín de eucalipto (80%) más salvado de trigo (18%) más yeso (1%) y cal (1%) obteniendo un valor energético de 363,10 kcal/100 g en la comunidad San Nicolás de Bari y también 331,88 kcal/100 g en la comunidad de Harin, variación posiblemente atribuida a la composición del aserrín de eucalipto utilizado. Este hallazgo es crucial para la producción comercial, ya que un mayor valor energético puede potenciar su atractivo nutricional y gastronómico, resaltando lo expresado por Ciesla (2002), quien indica que, *L. edodes* es una fuente de alimento muy valiosa, tiene cualidades nutricionales adecuadas para servir como plato principal, y se adapta bien a las recetas como sustituto de la carne.

Tabla 44. Prueba Tukey para el valor energético (kcal/100 g) del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

OM	Sustratos lignocelulósicos	Repetición	Media	Significancia
1	Aserrín de bolaina	3	351,46	a
2	Aserrín de cajonería	3	346,36	b
3	Bagazo de caña	3	340,90	c

Letras distintas demuestran significancias estadísticas ($p < 0,05$)

V. CONCLUSIONES

1. La tasa de biodegradación de sustratos lignocelulósicos por el hongo *L. edodes* fue significativo, siendo superior al emplear aserrín de cajonería con una media de 65,60%, seguido del bagazo de caña con 58,00% y, finalmente, el aserrín de bolaina blanca con tan solo 31,50%.
2. El empleo de bagazo de caña como sustrato lignocelulósico en la producción artesanal del hongo *L. edodes*, tuvo un efecto en mayor medida sobre características como la eficiencia biológica con 49,50%, la tasa de producción con 0,31, el rendimiento con 8,08%, el tamaño de píleo fue 4,91 cm, el número de cosechas fue 2,30 en promedio y el ciclo de cultivo fue 160,30 días, resultados inferiores se registró al utilizar aserrín de cajonería y aserrín de bolaina blanca.
3. La producción del hongo comestible *L. edodes* empleando como sustrato al aserrín de cajonería favorece en registrar mayor contenido de humedad donde la media fue 6,04%, mientras que la grasa con 2,55% y los carbohidratos con 65,44% son superiores al utilizar como sustrato aserrín de bolaina, finalmente las proteínas en 28,35% son superiores al emplear como sustrato al bagazo de caña
4. El valor energético del hongo comestible *L. edodes* producidos artesanalmente con diferentes sustratos fue estadísticamente superior al emplear aserrín de bolaina con una media de 351,45 Kcal/100 g.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. En la producción del hongo comestible *L. edodes* se deben considerar como variable adicional el costo de producción para fortalecer los resultados encontrados.
2. Desarrollar nuevos trabajos de investigación usando diferentes cepas de *L. edodes*, para ser inoculados en residuos agrícolas y agroindustriales.
3. Realizar estudios similares donde se consideren como factores adicionales en estudio a la temperatura y humedad, con la finalidad de incrementar el rendimiento en la producción de *L. edodes*, ya que las condiciones del distrito Rupa Rupa se caracteriza por la presencia de abundantes lluvias.
4. En la búsqueda de mejorar rendimientos para producir *L. edodes*, se debe aplicar a los sustratos en estudio diversos suplementos como el salvado de trigo y salvado de arroz que son fuentes de nitrógeno orgánico necesarios para la proliferación los hongos cultivados.
5. Realizar estudios donde se busquen materiales genéticos resistentes de *L. edodes* a la gradiente altitudinal a la cual se le asignen manejo adecuado de temperatura, humedad y sustratos.
6. En estudios similares, se debe complementar los análisis de la composición lignocelulósica y contenido mineral de los sustratos utilizados para el cultivo del hongo *L. edodes* con la cual se fortalecen las conclusiones.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, K. J. (2017). *Producción del hongo comestible Pleurotus djamor (Fr.) Boedijn usando distintos sustratos de residuos agrícolas aislado en Tingo María* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1361/KJAG_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ballard-Tremeer, G. (1997). *Emissions of Rural Wood-Burning Cooking Devices* [Tesis doctoral, Universidad de Witwatersrand]. researchgate.net. <https://acortar.link/kwvFpi>
- Boa, E. (2005). *Productos Forestales no Madereros - Los hongos silvestres comestibles Perspectiva global de su uso e importancia para la población*. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación – FAO. <https://www.fao.org/3/y5489s/y5489s.pdf>
- Campbell, A. C., y Racjan, M. (1999). The commercial exploitation of the white rot fungus *Lentinus edodes* (shiitake). *Int. Bio. Biodeg.* 43(3),101-107. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(99\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(99)00036-0)
- Carlile, M. J., Watkinson, S.C., y Gooday, G. W. (2001). *The fungi*. Academic Press
- Castillo, C.A. (2008). *Estudio comparativo de tres sustratos para la producción de shiitake Lentinus edodes Sing. (Berg) en Yahuarcocha, Imbabura* [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio institucional UTN. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/192/2/03%20AGP%2067%20DOCUMENTO%20FINAL.pdf>
- Chang, S. T. (1987). *World production of cultivated edible mushroom in 1986*. *Mush. J. Tropics*
- Chang, S. T., Miles, P. G. (1989). *Edible mushroom and their cultivation*. CRC-Press
- Chen, A. W. (2001). *Cultivation of Lentinula edodes on synthetic logs*. https://www.researchgate.net/publication/242117061_Cultivation_of_Lentinula_Edodes_on_Synthetic_Logs
- Chen, A. W. (2005). *Manual del cultivador de hongo* (1ª ed., Vol. 1). Mushworld. <https://es.scribd.com/document/489976030/Manual-Shiitake-Mushworld-pdf>
- Chiriví, C.A. (2018). *Determinación de un sustrato eficiente para el cultivo de shiitake (Lentinula edodes) a partir de una mezcla de residuos de producción de café y vaina de arveja (Pisum sativa) en el laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia

- Bolivariana – Seccional Bucaramanga]. Repositorio institucional UPB
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/5374>.
- Ciesla, W. M. (2002). *Non – wood forest products from temperate broad – leaved trees*. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación – FAO.
<https://www.fao.org/3/Y4351E/y4351e00.htm>
- Delpech, P., y Poliver, J. M. (1990). *Champignon parfumé (ou Shiitake). Une méthode française pour sa culture*. I.N.R.A En P.H.M. – Revue Horticole.
- Desisa, B., Muleta, D., Dejene, T., Jida, M., Goshu, A., y Martin-Pinto, P. (2023). Substrate optimization for Shiitake (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) Mushroom Production in Ethiopia. *J. Fungi*, 9(8), 1-12. doi: 10.3390/jof9080811. PMID: 37623582; PMCID: PMC10456065.
- Figuroa, F. G. (2020). *Elaboración de una unidad de cultivo casero del hongo Shiitake (Lentinula edodes) utilizando residuos orgánicos* [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31576>.
- Filiciotto, L., & Rothenberg, G. (2021). Biodegradable Plastics: Standards, policies, and impacts. *Chem. Sus. Chem.*, 14(1), 56-72. <https://doi.org/10.1002/cssc.202002044>
- Fogel, R. (1997). *Hechos increíbles de los hongos: Qué es un hongo*. Intermountain Herbarium. <http://www.herbarium.usu.edu/fungi/FunFacts/Spanish/kingfactSP.htm>
- Gaitán, R. (2006). *Obtención de carpóforos de Lentinula Y pleurotus en residuos de madera de pino y bagazo de la caña de azúcar*. Instituto de Ecología.
- García, C. G., y Merchán, P. M. (2011). *Evaluación caracterización y aprovechamiento del hongo Lentinula edodes “shiitake” para la disposición final del residuo de la industria maderera en la provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPOCH.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2007/1/236T0060.pdf>
- Gow, N., y Gadd, G.M. (1995). *The growing fungus*. Chapman & Hall.
- Gutierrez, A. H. (2005). *Efecto de la composición química del sustrato sobre la producción de Lentinula edodes* [Tesis de Posgrado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo]. Repositorio institucional CIAD.
<https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/839/1/GUTIERREZ-SALDA%20C3%91A-AH05.pdf>
- Guzmán, G. (1997). *Hongos* (3ª ed.). Limusa.

- Hawksworth, D. L., & Lücking, L. (2017). Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiol Spectr.*, 5(4):10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016. DOI: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill/Interamericana, S.A. DE C.V. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hobbs, C. (1996). *Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing e culture* (3 Ed.). Loveland, Interweave Press Inc.
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- Holgado-Rojas, M. E., Aranzabal, R. L., Lazarte, R., Quispe, A., Pérez, K. A., Aguilar, F. B., y Aguilar, F. (2019). Cultivo de *Pleurotus* sp. y *Lentinula edodes* bajo condiciones artesanales en comunidades campesinas de la región Cusco / Perú. *Ecol. apl.*, 18(2), 125-132. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i2.1331>
- Iizuka, C., y Takeuchi, M. (1978). *Method of artificially growing edible fungi patent US-4.071.973*. Free patents online. <https://www.freepatentsonline.com/4071973.html>
- Instituto de Salud Pública. (2009). *Determinación de humedad en alimentos*. Instituto de Salud Pública. https://nanopdf.com/download/me-711-02-023-v3-determinacion-de-humedad-en-alimentos_pdf
- Ito, T. (1978). *Cultivation of Lentinus edodes*, In: Chang, S. T. y W. A. Hayes (Eds) *The Biology and Cultivation of edible Mushrooms*. Academic Press
- Jones, K. (1995). *Hiitake: The healing mushroom*. Vermont, Healing Arts Press Rochester
- Leal, L.E., Juárez, V., y Terán, M. (2011). Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas, Departamento de Orán, Salta. *Quebracho*, 19(1,2), 75-83. <https://www.redalyc.org/pdf/481/48122207008.pdf>.
- Lou, L. (1981). *Production of black mushroom (Lentinus edodes)*. Beijing Agricultural University.
- Mata, G., Gaitán - Hernández, R., y Salmones, D. (2020). *El cultivo del shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral*. Instituto de Ecología, A.C. El cultivo del shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral (inecol.mx)
- Miles, P. G., y Chang, S. T. (1997). *Mushroom biology: Concise Basic and Current Developments*. World Scientific.

- Miles, P. G., y Chang, S. T. (1999). *Biología de las setas. Fundamentos básicos y acontecimientos actuales*. World Scientific.
- Monterroso, O. G. (2009). *Efecto de la suplementación de la caña de maíz (Zea mays L.) con nitrato de amonio, nitrato de potasio y urea en el cultivo del hongo Pleurotus ostreatus (CepaECS-152)* [Tesis de Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional USAC. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9488/1/Oscar%20Monterroso.pdf>
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., y Cuadrado, C. (2014). *Tablas de composición de alimentos*. Pirámides. https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-1-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf.
- Murata, H., Yamauchi, M., y Tanaka, H. (1987). *Process of shiitake (Lentinus edodes) cultivation*. Pub. Chem Patent Summary for US-4.674.228-A. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US-4674228-A>.
- Mushroom growers, (2005). *Shiitake Cultivation*. Mush World. https://www.goba.eu/wp-content/uploads/2015/06/Mushroom_Growers_Handbook_2_-_Shiitake_Cultivation.pdf.
- Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la U. www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/metodologiainvestigacionnaupas.pdf
- Palomo, A. A. (1997). *Comparativo de diferentes sustratos para el crecimiento y producción de Shiitake (Lentinus edodes Berk Sing.)* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1768>
- Philippoussisa, A., Diamantopoulou, P., Israilides, C. (2007). Productivity of agricultural residues used for the cultivation of the medicinal fungus *Lentinula edodes*. *International Biodeterioration & Biodegradation*; 59; 216–219. doi:10.1016/j.ibiod.2006.10.007
- Quintero, J. C. (2011). Revisión: degradación de plaguicidas mediante hongos de la pudrición blanca de la madera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 5867-5882. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472011000100012&lng=en&tlng=es

- Ranjbar, M. E., y Olfati, J. A. (2017). Evaluation of Substrate Components on Shiitake Mushroom Properties. *International Journal of Vegetable Science*, 23(2); 145-150. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19315260.2016.1220438>
- Rodríguez, N., Araque, M. L. y Perdomo, F. (2006). *Producción de los hongos comestibles orellanas y shiitake*. FNC. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/857/1/Hongos%20comestibles%20Orellanas%20Shiitake.pdf>.
- Romero, O., Martínez, M. A., Damián, M. A., Ramírez, B., y López, J. F. (2015). Producción del hongo Shiitake (*Lentinula edodes* Pegler) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(6), 1229-1238. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-0934201500060007&lng=es&tlng=es
- Royse, D. J., Schisler, L. C. y Diehle, D. A. (1985). *Shiitake mushrooms, consumption, production and cultivation*. *Interdisciplinary Science Review* 10(4), 329-335. DOI: 10.1179/isr.1985.10.4.329
- Royse, D. J. (1985). Effect of spawn run time and substrate nutrition on yield and size of the shiitake mushroom. *Mycologia*, 77(5), 756-762. <https://doi.org/10.1080/00275514.1985.12025163>
- Royse, D., Bahler, B., y Bahler, C. (1990). Enhanced Yield of Shiitake by Saccharide Amendment of the Synthetic Substrate. *Applied and environmental microbiology*, 56(2), 479-482. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.56.2.479-482.1990>
- Salmones, D., Gaytán., H. R., Pérez, R., y Guzmán, G. (1997). Estudios sobre el género Pleurotus. VIII. Interacción entre crecimiento micelial y productividad. *Rev. Iberoam Micol.*, 14, 173-176. <http://www.reviberoammicol.com/1997-14/173176.pdf>
- San Antonio, J. P. (1981). *Cultivation of the shiitake mushroom [Lentinus edodes]*. HortScience
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2017). *Condiciones climáticas, hidrológicas y ambientales en la región Huánuco, Ucayali y provincia de Tocache (Perú)*. Dirección Zonal 10. Boletín Técnico. Tingo María, Perú.
- Shanmugaraj, C., Saranraj, K., & Biswas, M. K. (2025). Optimizing spawn production and yield of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) - A Comprehensive study on grain substrates and growth supplements. *International Journal of Economic Plants*, 12(2), 01-07. <https://doi.org/10.23910/2/2025.5948b>

- Silva, R., Fritz, C., Cubillos, J., y Díaz, M. (2010). *Utilización de desechos de podas del arbolado urbano como sustrato para la producción de hongos comestibles (Shiitake) en la comuna de La Pintana*. PROYECTO CONAMA-FPA RM-027- 2010. Ministerio del Ambiente de Chile, Fondo de Protección Ambiental-fpa., Chitake, DiGA - Dirección de Gestión Ambiental.
- Stamets, P. (1993). *Growing gourmet and medicinal mushrooms*. Ten Speed Press. https://library.uniteddiversity.coop/Permaculture/Growing_Gourmet_and_Medicinal_Mushrooms.pdf
- Stamets, P. (2005). *Mycelium Running: How mushrooms can help save the world* (Illustrated ed.). Ten Speed Press. https://library.uniteddiversity.coop/Permaculture/Mycelium_Running.pdf
- Stamets, P., y Chilton, J. (1983). *The mushroom cultivator; a practical guide to growing mushrooms at home*. Agarikon press.
- Ting, H. G. (1994). *New technology on high speed and high yield cultivation of Shiitake, Beijing*. Golden Shield Press.
- Toharia, M. (1985). *El libro de las setas*. Editorial Alianza.
- Universidad de Murcia. (s.f.). *Práctica - grasa total*. Universidad de Murcia. <https://www.um.es/web/innovacion/plataformas/ocw/listado-de-cursos/higiene-inspeccion-y-control-alimentario/practicas/determinacion-de-grasa-total>
- Zamata, R. (2021). *Producción del hongo comestible shiitake (Lentinula edodes (Berk.) Pegler) utilizando residuos de poda de árboles frutales y restos agroindustriales* [Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional UNSA. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13296>
- Zárate, J. R. (2015). *Producción y desarrollo de cuatro aislamientos de Pleurotus ostreatus, cultivados en restos de cosecha* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional UNALM.
- Zhang, R., Xiujin, L., y Fadel, J.G. (2002). Oyster mushroom cultivation with rice and wheat Straw. *Bioresource Technology*, 82(3), 277-284. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852401001882?via%3Dihub>

Anexo

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible *Lentinula edodes* (Shiitake) en Tingo María.

Problema	Hipótesis	Objetivo	Variable independiente (X)	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuál será el efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible <i>L. edodes</i> en Tingo María?	El uso de los diferentes sustratos lignocelulósicos tiene efecto diferente en la producción artesanal del hongo comestible <i>L. edodes</i> en Tingo María	Objetivo general	Sustratos lignocelulósicos	Componentes de los sustratos	Aserrín de bolaina (100%) Aserrín de cajonería (100%) Bagazo de caña (100%)	Enfoque de investigación Cuantitativo
		Determinar el efecto de los sustratos lignocelulósicos en la producción artesanal del hongo comestible <i>Lentinula edodes</i> en Tingo María				Tipo de investigación Prospectivo
		Objetivos específicos:				Nivel de estudio Explicativo
		Determinar la tasa de biodegradación del hongo comestible <i>L. edodes</i> sobre los sustratos lignocelulósicos	Variable dependiente (Y)	Dimensiones	Indicadores	Diseño de investigación Experimento puro
		Determinar la eficiencia biológica, tasa de producción, rendimiento, tamaño, número de cosechas y periodo de producción artesanal del hongo comestible <i>L. edodes</i> sembrados en diferentes sustratos.	Producción artesanal	Biodegradación	Tasa de biodegradación	Tratamientos en estudio Tres sustratos
		Determinar la humedad, grasa, proteína y carbohidratos del hongo comestible <i>L. edodes</i> producidos artesanalmente con diferentes sustratos.		Eficiencia biológica Tasa de producción Rendimiento Tamaño Número de cosechas	Tasa de eficiencia biológica Tasa de producción Porcentaje de rendimiento Diámetro del píleo Cantidad de oleadas	Población 30 bolsas con sustrato
		Determinar el valor energético del hongo comestible <i>L. edodes</i> producidos artesanalmente con diferentes sustratos.		Periodo de producción	Ciclo de cultivo	Unidad de estudio Una bolsa con sustrato
				Cantidad de agua Grasa Proteína Carbohidratos	Porcentaje de humedad Porcentaje de grasa Porcentaje de proteína Porcentaje de carbohidratos	Unidad experimental Una bolsa con sustrato
		Valor energético	Calorías totales	Unidad de análisis Sustrato y hongo		
				Técnica de recolección La observación		
				Instrumento de recolección Instrumentos de medición mecánicos		
				Análisis de datos Estadística descriptiva e inferencial		

Anexo A. Datos registrados

Tabla 45. Base de datos de la tasa de biodegradación del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustrato	Rep	Peso seco del sustrato inicial (g)	Peso seco del sustrato final (g)	TB (%)
1	1	300	225	25,00
1	2	300	220	26,67
1	3	300	210	30,00
1	4	300	200	33,33
1	5	300	210	30,00
1	6	300	220	26,67
1	7	300	190	36,67
1	8	300	195	35,00
1	9	300	180	40,00
1	10	300	205	31,67
2	1	250	80	68,00
2	2	250	90	64,00
2	3	250	90	64,00
2	4	250	85	66,00
2	5	250	95	62,00
2	6	250	80	68,00
2	7	250	80	68,00
2	8	250	90	64,00
2	9	250	80	68,00
2	10	250	90	64,00
3	1	100	35	65,00
3	2	100	45	55,00
3	3	100	35	65,00
3	4	100	35	65,00
3	5	100	40	60,00
3	6	100	65	35,00
3	7	100	45	55,00
3	8	100	45	55,00
3	9	100	45	55,00
3	10	100	30	70,00

Sustrato: Aserrín de bolaina blanca – 1, Aserrín de cajonería – 2, Bagazo de caña – 3

Tabla 46. Base de datos de la eficiencia biológica, tasa de producción y ciclo del cultivo del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustrato	Rep	PSSAF (g)	PHS (g)	PTFH (g)	Final (días)	EB	TP	Rendimiento
1	1	300	1010	46	171	15,33	0,09	4,55
1	2	300	1010	37,5	171	12,50	0,07	3,71
1	3	300	1008	50	175	16,67	0,10	4,96
1	4	300	1006	63,5	171	21,17	0,12	6,31
1	5	300	1005	56	182	18,67	0,10	5,57
1	6	300	1013	49	178	16,33	0,09	4,84
1	7	300	1009	66	144	22,00	0,15	6,54
1	8	300	1008	93	183	31,00	0,17	9,23
1	9	300	1008	36,5	171	12,17	0,07	3,62
1	10	300	1006	70	174	23,33	0,13	6,96
2	1	250	816	67	173	26,80	0,15	8,21
2	2	250	811	76	178	30,40	0,17	9,37
2	3	250	814	87	177	34,80	0,20	10,69
2	4	250	810	71	177	28,40	0,16	8,77
2	5	250	819	75	181	30,00	0,17	9,16
2	6	250	813	76	180	30,40	0,17	9,35
2	7	250	811	65	180	26,00	0,14	8,01
2	8	250	801	92	173	36,80	0,21	11,49
2	9	250	813	72	161	28,80	0,18	8,86
2	10	250	813	74	176	29,60	0,17	9,10
3	1	100	609	63	145	63,00	0,43	10,34
3	2	100	624	51	148	51,00	0,34	8,17
3	3	100	584	37	160	37,00	0,23	6,34
3	4	100	567	44	171	44,00	0,26	7,76
3	5	100	590	70	168	70,00	0,42	11,86
3	6	100	622	39	168	39,00	0,23	6,27
3	7	100	630	52	168	52,00	0,31	8,25
3	8	100	611	45	168	45,00	0,27	7,36
3	9	100	662	52	169	52,00	0,31	7,85
3	10	100	637	42	138	42,00	0,30	6,59

Sustrato: Aserrín de bolaina blanca – 1, Aserrín de cajonería – 2, Bagazo de caña – 3

PSSAF (g): Peso seco del sustrato antes de fermentar; PHS (g): Peso húmedo del sustrato; PTFH (g): Peso fresco total del hongo; EB:

Eficiencia biológica; TP: Tasa de producción; Final (días): Ciclo del cultivo

Tabla 47. Base de datos del diámetro medio del pïleo, número de cosechas y número de frutos por bolsa del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Sustrato	Rep	PDPH (cm)	Tamaño	NC	NFB	Inicio de producción (días)
1	1	3,51	1	1	12	171
1	2	2,91	1	1	11	171
1	3	4,01	1	2	8	138
1	4	2,54	1	1	34	171
1	5	2,92	1	1	21	170
1	6	3,97	1	2	3	177
1	7	5,2	2	2	5	135
1	8	5,12	2	2	11	137
1	9	3,25	1	1	9	171
1	10	3,45	1	2	16	136
2	1	3,9	1	2	11	129
2	2	4,88	1	2	8	134
2	3	5,2	2	2	7	131
2	4	3,24	1	2	24	135
2	5	3,59	1	2	23	134
2	6	4,07	1	2	16	128
2	7	3,89	1	2	18	136
2	8	3,66	1	2	14	137
2	9	3,35	1	2	18	135
2	10	3,47	1	2	15	136
3	1	6,5	2	2	3	92
3	2	5,4	2	2	5	137
3	3	3,94	1	2	6	132
3	4	6,5	2	2	3	110
3	5	4,4	1	4	9	83
3	6	6,87	2	2	2	125
3	7	3,06	1	2	14	128
3	8	3,13	1	2	12	129
3	9	4,12	1	3	9	112
3	10	5,15	2	2	6	110

Sustrato: Aserrín de bolaina blanca – 1, Aserrín de cajonería – 2, Bagazo de caña – 3

PDPH (cm): Diámetro medio del pïleo del hongo; NC: Número de cosechas; NFB: Número de frutos por bolsa

Tabla 48. Base de datos de la humedad, proteína, grasa, carbohidratos y valor energético del hongo comestible *L. edodes* en los sustratos lignocelulósicos.

Tratamiento	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Carbohidratos (%)	Valor energético
1	5,67	21,09	2,55	65,44	351,45
1	5,66	21,09	2,55	65,44	351,45
1	5,66	21,09	2,55	65,45	351,49
2	6,04	21,99	2,45	63,9	346,50
2	6,04	22,02	2,45	63,83	346,28
2	6,04	22,02	2,45	63,83	346,28
3	4,39	28,35	2,07	59,36	340,91
3	4,39	28,35	2,07	59,36	340,91
3	4,4	28,35	2,07	59,35	340,87

Tabla 49. Temperatura y humedad registrados para las condiciones del experimento.

Mes	Día/Hora	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
		6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.	6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.
Marzo	01/03/2024	24,5	25	26,2	70%	69%	71%
Marzo	02/03/2024	24	25	26	70%	69%	70%
Marzo	03/03/2024	24,5	25,5	26,3	70%	69%	71%
Marzo	04/03/2024	24,8	25,5	26,4	71%	71%	70%
Marzo	05/03/2024	24,6	25,8	26,3	70%	70%	70%
Marzo	06/03/2024	24,6	25,5	26,9	70%	70%	66%
Marzo	07/03/2024	25,2	25,4	25,7	70%	71%	71%
Marzo	08/03/2024	24,1	25,5	26,1	71%	70%	69%
Marzo	09/03/2024	24,6	25,8	26	70%	69%	70%
Marzo	10/03/2024	24,9	26,1	26	69%	69%	70%
Marzo	11/03/2024	24,3	25,4	26	71%	71%	72%
Marzo	12/03/2024	24,8	26,2	26,4	72%	72%	71%
Marzo	13/03/2024	25,1	26,8	27,5	73%	65%	64%
Marzo	14/03/2024	25,5	27,3	27,9	72%	68%	65%
Marzo	15/03/2024	25,8	27,5	28	69%	65%	65%
Marzo	16/03/2024	25,9	26,5	27,5	70%	70%	67%
Marzo	17/03/2024	24,8	26,5	26,6	70%	67%	67%
Marzo	18/03/2024	24,1	26	26,9	71%	67%	68%

Mes	Día/Hora	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
		6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.	6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.
Marzo	19/03/2024	25,1	26	26,1	71%	71%	71%
Marzo	20/03/2024	24,1	26	27,1	71%	67%	66%
Marzo	21/03/2024	25,4	26,5	26,5	72%	70%	71%
Marzo	22/03/2024	24,4	26,3	26,4	72%	70%	70%
Marzo	23/03/2024	23,9	24,9	24,6	71%	71%	71%
Marzo	24/03/2024	23	22	25,2	72%	53%	67%
Marzo	25/03/2024	23..6	26	26,8	70%	65%	64%
Marzo	26/03/2024	24,8	26,5	26	70%	65%	68%
Marzo	27/03/2024	23,9	25,9	26,5	71%	67%	71%
Marzo	28/03/2024	23,2	26	27,1	69%	67%	60%
Marzo	29/03/2024	24,8	26,5	27	69%	68%	60%
Marzo	30/03/2024	23,6	26,2	27	63%	62%	60%
Marzo	31/03/2024	24,4	26,6	26,8	70%	67%	69%
Abril	01/04/2024	24,9	24,5	24,9	71%	72%	71%
Abril	02/04/2024	23,4	25,2	26,3	72%	69%	69%
Abril	03/04/2024	24	25,5	26	70%	69%	69%
Abril	04/04/2024	24,1	26,1	27,2	72%	67%	66%
Abril	05/04/2024	25,1	25,5	25,5	71%	69%	70%
Abril	06/04/2024	23,4	25,5	26,2	71%	70%	70%
Abril	07/04/2024	24,1	25,9	26,9	69%	72%	67%
Abril	08/04/2024	25,2	25,9	26	72%	70%	70%
Abril	09/04/2024	24,1	25,5	26,5	72%	67%	67%
Abril	10/04/2024	25,1	26,7	27,7	72%	60%	60%
Abril	11/04/2024	25,1	26,8	27	69%	66%	65%
Abril	12/04/2024	24,6	26,8	29,6	68%	67%	60%
Abril	13/04/2024	25,9	26,9	27,2	70%	65%	66%
Abril	14/04/2024	25,7	27,7	27,2	70%	66%	65%
Abril	15/04/2024	25,2	26,7	27,4	70%	67%	65%
Abril	16/04/2024	24,2	26,2	27,1	70%	68%	66%
Abril	17/04/2024	25,1	26,5	27	72%	71%	67%
Abril	18/04/2024	25,2	26,2	28,5	73%	70%	69%
Abril	19/04/2024	24	25,6	26,1	72%	70%	70%
Abril	20/04/2024	24,4	25,8	26,5	71%	67%	70%
Abril	21/04/2024	25	26,5	27	70%	66%	66%
Abril	22/04/2024	25,1	26,4	26,8	72%	69%	71%

Mes	Día/Hora	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
		6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.	6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.
Abril	23/04/2024	25,5	26,8	27,1	72%	71%	66%
Abril	24/04/2024	25,5	26	27,2	71%	70%	69%
Abril	25/04/2024	25	26,9	29,6	69%	66%	66%
Abril	26/04/2024	26,1	27,1	27,2	70%	67%	67%
Abril	27/04/2024	25,1	26,5	26,5	71%	65%	67%
Abril	28/04/2024	25,5	27,1	27,1	72%	66%	67%
Abril	29/04/2024	24,8	26,7	27,1	70%	69%	65%
Abril	30/04/2024	25,4	27,1	28,1	70%	66%	65%
Mayo	01/05/2024	25,2	27,2	28,1	70%	64%	63%
Mayo	02/05/2024	25,5	27,1	27,9	69%	63%	64%
Mayo	03/05/2024	25,2	26,8	27,5	70%	67%	69%
Mayo	04/05/2024	24,7	26,1	26,2	70%	66%	68%
Mayo	05/05/2024	24,4	25,8	26,7	69%	67%	67%
Mayo	06/05/2024	24,9	26,5	27,1	72%	69%	66%
Mayo	07/05/2024	25,1	26,2	26,8	71%	70%	69%
Mayo	08/05/2024	24,8	26,5	27,1	71%	70%	67%
Mayo	09/05/2024	25	26,9	27,6	71%	68%	69%
Mayo	10/05/2024	25,1	26,4	27,1	71%	70%	67%
Mayo	11/05/2024	25	26,1	27,1	71%	70%	69%
Mayo	12/05/2024	25,8	26,2	27,1	73%	69%	67%
Mayo	13/05/2024	25,5	26,4	27,1	71%	69%	67%
Mayo	14/05/2024	24,9	25,6	25,9	69%	69%	71%
Mayo	15/05/2024	24,3	25,5	25,7	72%	70%	72%
Mayo	16/05/2024	24,2	25,8	26,3	74%	72%	71%
Mayo	17/05/2024	24,5	26,1	26,9	73%	70%	70%
Mayo	18/05/2024	25,1	26,8	27,5	72%	70%	69%
Mayo	19/05/2024	25	27,1	27,9	71%	69%	65%
Mayo	20/05/2024	25,8	27,6	28	71%	62%	61%
Mayo	21/05/2024	25,7	27,4	27,9	70%	66%	64%
Mayo	22/05/2024	25,8	27,3	27,8	71%	68%	64%
Mayo	23/05/2024	25,6	27,3	28	70%	66%	65%
Mayo	24/05/2024	25,6	27,7	28,2	64%	60%	61%
Mayo	25/05/2024	25,9	27,8	28,5	70%	62%	63%
Mayo	26/05/2024	25,4	26,4	26,6	69%	70%	68%
Mayo	27/05/2024	24,5	26,2	26,8	71%	65%	64%

Mes	Día/Hora	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
		6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.	6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.
Mayo	28/05/2024	24,5	25,9	26,5	70%	65%	67%
Mayo	29/05/2024	24,9	26,1	26,8	69%	66%	67%
Mayo	30/05/2024	25	26,4	26,9	69%	62%	65%
Mayo	31/05/2024	24,4	26,3	27,1	64%	62%	64%
Junio	01/06/2024	24,6	26,5	27	65%	62%	63%
Junio	02/06/2024	24,3	26,4	27	62%	61%	62%
Junio	03/06/2024	23,6	26,3	26,7	59%	50%	58%
Junio	04/06/2024	23	26,1	26,2	65%	57%	62%
Junio	05/06/2024	24,1	26,2	27,1	66%	60%	61%
Junio	06/06/2024	24,4	26,3	26,8	65%	62%	61%
Junio	07/06/2024	24,4	26,7	27,5	65%	60%	62%
Junio	08/06/2024	24,5	26,8	27,4	66%	60%	60%
Junio	09/06/2024	24,4	26,8	27,3	66%	62%	61%
Junio	10/06/2024	24,7	26,5	26,6	66%	65%	66%
Junio	11/06/2024	24,9	26,4	26,9	69%	66%	66%
Junio	12/06/2024	24,5	27,6	27	67%	64%	67%
Junio	13/06/2024	25	25,8	27	70%	69%	67%
Junio	14/06/2024	25,2	26,4	27,5	71%	66%	67%
Junio	15/06/2024	24,9	26,3	23,6	69%	68%	69%
Junio	16/06/2024	24,7	26,1	26,6	71%	67%	68%
Junio	17/06/2024	24,5	26,1	27	71%	64%	64%
Junio	18/06/2024	24,3	25,4	26,2	68%	67%	68%
Junio	19/06/2024	23,9	25,3	25,9	70%	69%	69%
Junio	20/06/2024	24,2	25,1	25,5	69%	69%	68%
Junio	21/06/2024	23,7	24,5	24,5	70%	69%	70%
Junio	22/06/2024	23	25,1	25,8	70%	67%	67%
Junio	23/06/2024	24,4	26,2	27	67%	67%	67%
Junio	24/06/2024	24,4	26	27,2	64%	65%	66%
Junio	25/06/2024	24,5	26,7	27,4	67%	63%	65%
Junio	26/06/2024	25,1	26,7	27,2	69%	65%	65%
Junio	27/06/2024	24,5	26,5	27,5	69%	65%	65%
Junio	28/06/2024	24,5	26,2	26,9	66%	64%	63%
Junio	29/06/2024	24,4	25,3	25,6	64%	66%	68%
Junio	30/06/2024	24,1	25,4	25,9	70%	65%	67%
Julio	1/07/2024	24,5	25,6	25,5	70%	67%	69%

Mes	Día/Hora	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
		6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.	6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.
Julio	2/07/2024	24,1	25,4	26	70%	67%	67%
Julio	3/07/2024	24,1	25,8	26,1	71%	67%	69%
Julio	4/07/2024	23,3	25,8	26,5	68%	64%	64%
Julio	5/07/2024	23,8	26,2	26,7	67%	62%	64%
Julio	6/07/2024	24,2	26,4	26,2	66%	62%	69%
Julio	7/07/2024	24,7	26,2	26,5	69%	65%	65%
Julio	8/07/2024	24,1	26,1	26,7	69%	64%	64%
Julio	9/07/2024	24,5	25,8	26,2	68%	67%	66%
Julio	10/07/2024	24,3	25,5	26	69%	67%	66%
Julio	11/07/2024	24,4	25,5	26,4	67%	65%	66%
Julio	12/07/2024	24,2	25,7	26,1	69%	64%	62%
Julio	13/07/2024	24	26	26	69%	67%	64%
Julio	14/07/2024	24,2	25	25,2	69%	67%	68%
Julio	15/07/2024	24,1	24,4	24,8	66%	65%	65%
Julio	16/07/2024	23,1	24,4	25,4	69%	64%	66%
Julio	17/07/2024	22,1	24,5	25,4	67%	58%	60%
Julio	18/07/2024	21,8	24,2	25	67%	56%	58%
Julio	19/07/2024	21,5	24,1	25,2	61%	56%	68%
Julio	20/07/2024	21,8	23,8	24,7	61%	59%	62%
Julio	21/07/2024	22,8	24,9	26,1	66%	60%	60%
Julio	22/07/2024	23,2	15,4	26,3	64%	60%	65%
Julio	23/07/2024	24,1	15,5	26,2	66%	65%	65%
Julio	24/07/2024	23,8	25,6	26,1	67%	64%	65%
Julio	25/07/2024	24,5	26,4	26,9	71%	62%	65%
Julio	26/07/2024	24,4	26,5	27,5	65%	60%	64%
Julio	27/07/2024	25	26,9	27,5	69%	61%	63%
Julio	28/07/2024	25,1	26,9	27,5	67%	59%	59%
Julio	29/07/2024	24,1	26,9	27,6	65%	60%	59%
Julio	30/07/2024	25,1	26,7	27,3	66%	61%	62%
Julio	31/07/2024	25,4	27	27,5	66%	60%	59%
Agosto	1/08/2024	24,8	26,4	26,9	62%	61%	61%
Agosto	2/08/2024	24,4	26,8	26	60%	57%	63%
Agosto	3/08/2024	24	26,2	27,2	65%	59%	60%
Agosto	4/08/2024	24,2	26,7	27	63%	59%	60%
Agosto	5/08/2024	24	26,1	26,5	65%	62%	60%

Mes	Día/Hora	Temperatura (°C)			Humedad (%)		
		6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.	6:00 a.m.	2:00 p.m.	6:00 p.m.
Agosto	6/08/2024	24,1	25,4	26,2	68%	67%	65%
Agosto	7/08/2024	24,1	25,4	26,6	66%	64%	65%
Agosto	8/08/2024	24,5	25,9	26,4	67%	66%	67%
Agosto	9/08/2024	25,1	26,4	27	66%	63%	63%
Agosto	10/08/2024	25,6	26,4	26,4	70%	61%	64%
Agosto	11/08/2024	25,5	25,3	25,8	70%	62%	65%
Agosto	12/08/2024	23,1	25,5	25,7	65%	60%	65%
Agosto	13/08/2024	23,9	25,8	26,5	64%	59%	60%
Agosto	14/08/2024	22,5	26	26,9	63%	57%	59%
Agosto	15/08/2024	22,9	25,7	26,8	62%	56%	57%
Agosto	16/08/2024	22,5	26,1	27,3	63%	57%	57%
Agosto	17/08/2024	22,5	26,9	27,9	63%	58%	56%
Agosto	18/08/2024	24,7	26,4	27,2	63%	60%	59%
Agosto	19/08/2024	23,9	26,7	27,5	63%	57%	58%
Agosto	20/08/2024	24,4	26,3	28	62%	63%	54%
Agosto	21/08/2024	24,5	27,7	28,8	62%	55%	56%
Agosto	22/08/2024	25,9	28	28,8	64%	55%	59%
Agosto	23/08/2024	25	27,3	28	68%	63%	62%
Agosto	24/08/2024	24,2	26,1	26,5	67%	66%	64%
Agosto	25/08/2024	24,2	24,8	24,9	67%	67%	69%
Agosto	26/08/2024	23,5	25,3	25,9	70%	64%	64%
Agosto	27/08/2024	23,9	26	27,1	65%	60%	60%
Agosto	28/08/2024	23,5	26,5	27,4	65%	60%	60%
Agosto	29/08/2024	24,4	26,6	27,4	65%	60%	59%
Agosto	30/08/2024	24,3	26,5	27,8	65%	60%	51%
Agosto	31/08/2024	24,2	27,2	28,3	61%	51%	53%
Setiembre	1/09/2024	25,5	27,5	28	66%	51%	52%
Setiembre	2/09/2024	24	25,5	25,3	70%	59%	61%
Setiembre	3/09/2024	24	25,5	26,6	70%	56%	56%
Setiembre	4/09/2024	25	26	27,5	66%	55%	57%
Setiembre	5/09/2024	25,5	27,4	28,4	60%	59%	57%
Setiembre	6/09/2024	24,2	26,5	27,5	69%	55%	57%
Setiembre	7/09/2024	25	27,5	27,9	66%	51%	54%
Setiembre	8/09/2024	25,5	27,4	27,5	65%	54%	58%

Anexo B. Imágenes fotográficas

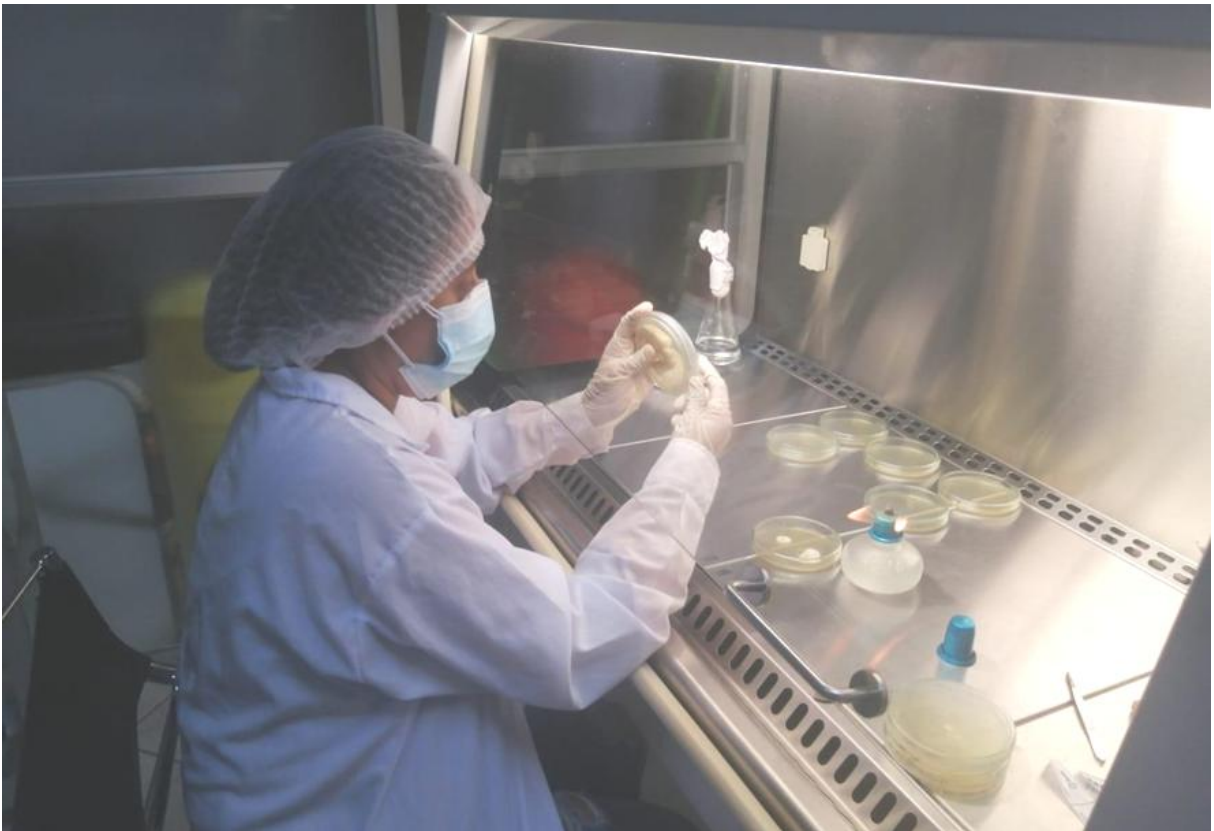


Figura 20. Aislamiento del micelio en placas Petri con medio de cultivo PDA.



Figura 21. Oreado de los granos de cebada después de precocción.



Figura 22. Esterilización de los granos de cebada.



Figura 23. Inoculación del micelio en los granos de cebada.



Figura 24. Secado del bagazo de caña después de ser lavado para luego pasar a su descomposición por siete días.



Figura 25. Sustrato humedecido y volteado todos los días para su proceso de descomposición.



Figura 26. Sustrato cubierto con plástico negro por dentro para que ayude a su proceso de descomposición.



Figura 27. Colocación de bolsas con sustrato para la pasteurización.



Figura 28. Proceso de pasteurización de los sustratos.



Figura 29. Inoculación de las semillas de *L. edodes* en el sustrato.



Figura 30. Observación de la corrida de los micelios de *L. edodes* en los sustratos.



Figura 31. Micelio de *L. edodes* cubriendo casi la totalidad de los sustratos.



Figura 32. Medición de la temperatura y humedad en el ambiente de producción.



Figura 33. Registro de la temperatura y humedad en el ambiente de producción.



Figura 34. Bolsas con sustratos puesto a luz para el periodo de fructificación de *L. edodes*.



Figura 35. Presencia de ampollas o popcornig de *L. edodes*.



Figura 36. Presencia de frutos de *L. edodes* en el sustrato de aserrín de cajonería.



Figura 37. Presencia de frutos de *L. edodes* en el sustrato de aserrín de bolaina.



Figura 38. Presencia de frutos de *L. edodes* listos para la cosecha.



Figura 39. Medición del píleo de *L. edodes* con ayuda del vernier.



Figura 40. Ambiente acondicionado para el cultivo del hongo *L. edodes*.

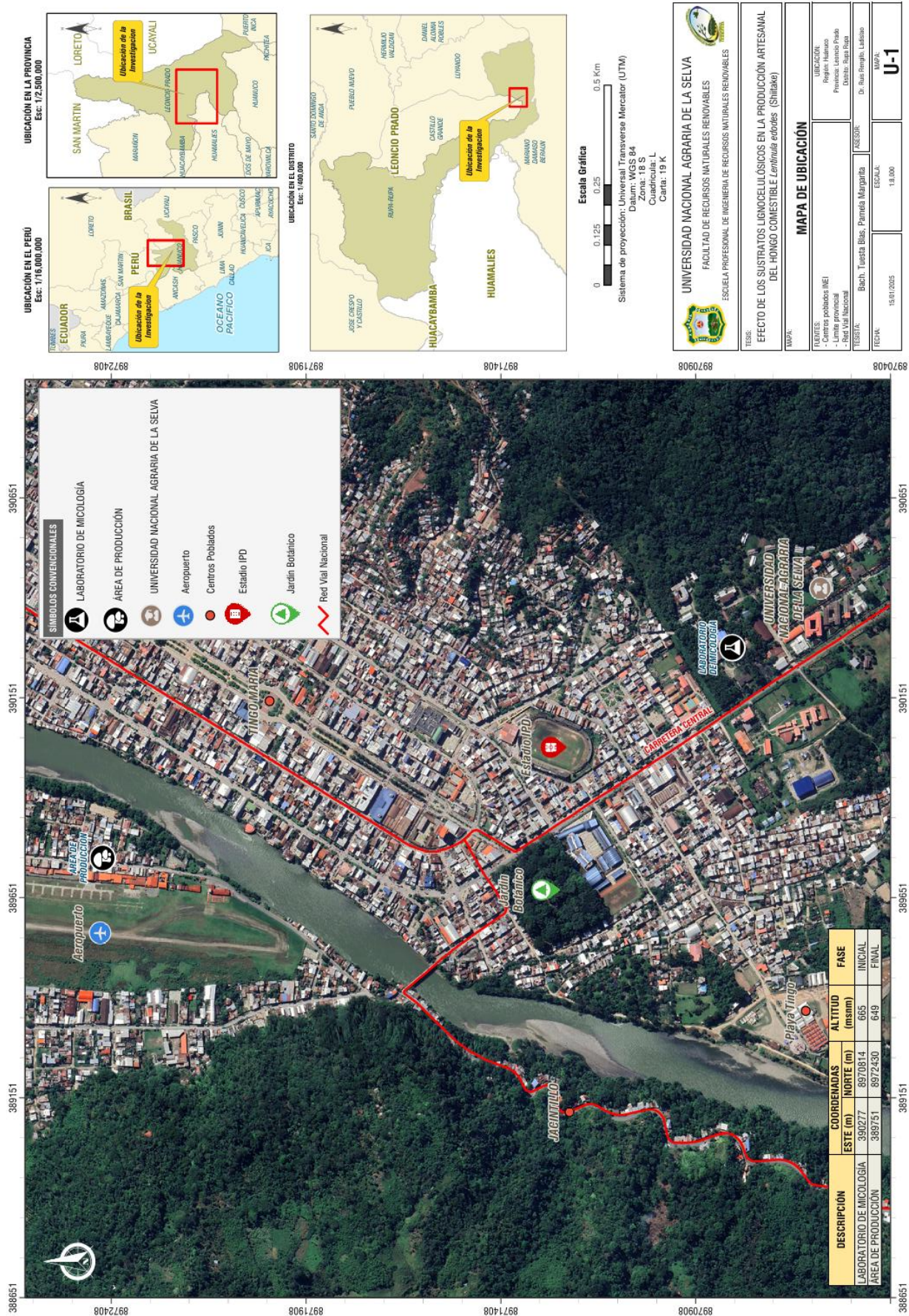


Figura 41. Lugar de ejecución de los ambientes donde se ejecutó la tesis en *L. edodes*.