



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

**“PRODUCCIÓN DE HONGOS GOURMET (*Pleurotus ostreatus* Jacq.)
MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA”**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

David Issac Vásquez Montenegro

DIRECTOR:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas MSc.

ASESORES:

Ing. Franklin Eduardo Sánchez Pila MSc.

Lic. Ima Sumac Sánchez De Cespedes MSc.

Ibarra, 2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

“PRODUCCIÓN DE HONGOS GOURMET (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA”

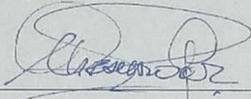
Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

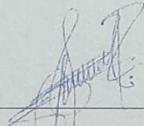
[Ing. Miguel Gómez MSc.]

DIRECTOR


FIRMA

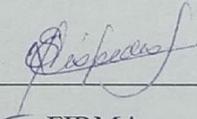
[Ing. Franklin Sánchez MSc.]

MIEMBRO TRIBUNAL


FIRMA

[Lic. Ima Sánchez MSc.]

MIEMBRO TRIBUNAL


FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

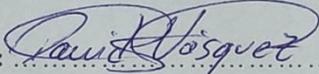
DATOS DE CONTACTO	
Cédula de identidad:	100351832 - 9
Apellidos y nombres:	Vásquez Montenegro David Issac
Dirección:	La Victoria, Ibarra.
Email:	divasquezm@utn.edu.ec
Teléfono móvil:	0998725974

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“PRODUCCIÓN DE HONGOS GOURMET (<i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq.) MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA”
Autor:	Vásquez Montenegro David Issac
Fecha:	18/02/2022
Solo para trabajos de grado	
Programa	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
Título por el que opta	Ingeniero Agropecuario
Director	Ing. Miguel Gómez, MSc.

1. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de febrero de 2022

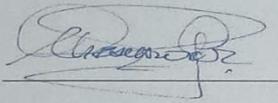
EL AUTOR: .....

David Issac Vásquez Montenegro, C.I. 100351832-9

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por David Issac Vásquez Montenegro, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 8 días del mes de agosto del 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Miguel Gómez', written over a horizontal line.

Ing. Miguel Gómez MSc.

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

La vida me ha enseñado cosas buenas y malas, unas que me lastimaron, otras que me fortalecieron grandemente, otras que me formaron para ser un buen profesional y otras para ser una persona con excelentes valores. Principalmente estoy muy agradecido con Dios por haberme permitido culminar una meta más en mi vida lleno de salud y fuerza para iniciar un nuevo rumbo laboral; también estoy muy agradecido con mis padres y mis hermanos por haberme apoyado cuando más los necesitaba física y emocionalmente. Asimismo, estoy muy agradecido con mi esposa por ser un apoyo incondicional en todo momento. Por otro lado, agradezco a mis docentes quienes fueron los que me enseñaron todo el conocimiento que ahora tengo para aplicarlos en el mundo laboral.

DEDICATORIA

Dedico esta meta cumplida especialmente a mi madre, quien fue mi fortaleza en todo momento, apoyándome incondicionalmente y económicamente para poder cumplir este reto que nos planteamos. También dedico este sueño a todos los que creyeron en mi capacidad y me desearon éxitos cuando inicie este camino para mi formación académica. Por otro lado, a mis alumnos y hermanos de Rugby de la UTN les deseo éxitos en su formación profesional y que sigamos con pie firme en el desarrollo del club. Asimismo, dedico este logro a mi hermano Ricardo Vásquez quien es una inspiración muy grande por su desarrollo profesional y personal; y a mis dos hermanos menores Erick Vásquez y Josué Vásquez los mejores éxitos para que logren sus sueños y sean unos excelentes profesionales.

ÍNDICE

Contenido	
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Problema.....	2
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis nula.....	7
1.5.2. Hipótesis alternativa.....	7
CAPÍTULO II.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Características del hongo ostra.....	8
2.1.1. Morfología.....	8
2.2. Clasificación taxonómica del hongo ostra.....	8
2.3. Características fisiológicas de <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq.	9
2.4. Importancia del cultivo de la especie <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq.	9
2.4.1. Propiedades nutricionales.....	9
2.4.2. Propiedades medicinales.....	10
2.5. Características generales del cultivo del hongo ostra.....	11

2.5.1. Ambiente	11
2.5.2. Temperatura	11
2.5.3. Humedad	12
2.5.4. Iluminación.....	13
2.5.5. Ventilación	13
2.6. Cultivo en fundas de polipropileno	15
2.6.1. Preparación de los sustratos	15
2.6.2. Pasteurización.....	15
2.6.3. Siembra.....	16
2.6.4. Colonización o incubación	16
2.6.5. Inducción.....	17
2.6.6. Producción o fructificación	17
2.6.7. Cosecha	17
2.7. Problemas del cultivo	18
2.7.1. Pestes o plagas.....	18
2.7.2. Enfermedades	18
2.8. Relación carbono/nitrógeno	18
2.8.1. Composición química de los residuos	19
2.8.2. Celulosa.....	19
2.8.3. Hemicelulosa.....	19
2.8.4. Lignina	20
2.9. Materias primas.....	20
2.10. Marco legal	22
CAPÍTULO III	23
3. MARCO METODOLÓGICO	23
3.1. Descripción del área de estudio	23
3.2. Materiales	24

3.2.1.	Materias primas	24
3.2.2.	Herramientas.....	24
3.2.3.	Insumos y equipos	24
3.3.	Métodos	25
3.3.1.	Factores de estudio	25
3.3.2.	Tratamientos	26
3.3.3.	Diseño experimental.....	27
3.3.4.	Características del experimento.....	29
3.3.5.	Unidad experimental.....	29
3.3.6.	Análisis estadístico	29
3.4.	VARIABLES A EVALUAR	30
3.4.1.	Tiempo de corrida del micelio (T.C.M)	30
	31
3.4.2.	Días a la formación de primordios	31
3.4.3.	Días a la cosecha.....	32
3.4.4.	Número de colonias maduras	33
3.4.5.	Peso de hongos cosechados por sustrato (Rendimiento).....	34
3.4.6.	Eficiencia biológica	34
3.4.7.	Rentabilidad.....	35
3.5.	Manejo de experimento	35
3.5.1.	Áreas de producción	35
3.5.2.	Recolección de materias primas	37
3.5.3.	Semilla	37
3.5.4.	Almacenamiento de materias primas.....	38
3.5.5.	Pasteurización.....	38
3.5.6.	Siembra o inoculación	39
3.5.7.	Incubación	41
3.5.8.	Fructificación.....	42

3.5.9. Cosecha.....	43
CAPÍTULO IV	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1. Tiempo de corrida del micelio (T.C.M)	44
4.2. Días a la formación de primordios (D.F.P)	48
4.3. Días a la cosecha (D.C)	51
4.4. Número de colonias maduras (N.C.M).....	53
4.5. Peso de hongos cosechados por sustrato (Rendimiento) y eficiencia biológica (E.B.)	55
4.6. Rentabilidad.....	59
CAPITULO V.....	64
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1. Conclusiones.....	64
5.2. Recomendaciones	65
Referencias	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación taxonómica del hongo ostra</i>	9
Tabla 2 <i>Condiciones ambientales, características físicas del sustrato y operaciones de pasteurización óptimas para la producción del hongos ostra</i>	14
Tabla 3 <i>Tratamientos del experimento con su respectiva combinación y concentración de cada residuo vegetal</i>	26
Tabla 4 <i>Esquema de ADEVA en diseño de bloques completos al azar (DBCA)</i>	30
Tabla 5 <i>Análisis de varianza para la variable tiempo de corrida del micelio (T.C.M) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones</i>	44

Tabla 6 <i>Análisis de varianza para la variable días a la formación de primordios (D.F.P) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones</i>	48
Tabla 7 <i>Análisis de varianza para la variable madurez de cosecha (D.C) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones</i>	51
Tabla 8 <i>Análisis de varianza para la variable número de colonias maduras (N.C.M) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones</i>	53
Tabla 9 <i>Análisis de varianza para la variable de rendimiento del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones</i>	55
Tabla 10 <i>Análisis de varianza para la variable eficiencia biológica (E.B) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones</i>	55
Tabla 11 <i>Análisis de la relación beneficio/costo de cada tratamiento sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones</i>	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Morfología del hongo ostra (Pleurotus ostreatus Jacq.)</i>	8
Figura 2 <i>Ubicación geográfica de la Granja Experimental La Pradera (lugar de la experimentación)</i>	23
Figura 3 <i>Diseño experimental de la investigación en la fase vegetativa del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. (área de incubación)</i>	27
Figura 4 <i>Diseño experimental de la investigación de la fase reproductiva del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. (área de fructificación)</i>	28
Figura 5 <i>Corrida del micelio en el sustrato de los 3 primeros monitoreos. Foto 1 (T15): 15%, foto 2 (T14): 50%, foto 3 (T12): 98% sucesivamente</i>	31
Figura 6 <i>Primeros brotes de formación de primordios en forma de dedos de aproximadamente 2 – 3 milímetros</i>	32
Figura 7 <i>Colonia de hongos ostra con el carpóforo bien desarrollado y bordes planos, listas para ser cosechada (Madurez de cosecha). Foto 1 (T1): fructificación 1, foto 2 (T1): fructificación 2</i>	32

Figura 8 Colonias maduras, listas para ser cosechadas O y abortos O. Foto: Tratamiento T3, fructificación 1	33
Figura 9 Total de hongos cosechados en la fructificación 1 del tratamiento t4b1	34
Figura 10 Esquema de la distribución de las áreas de producción con sus respectivas medidas.	36
Figura 11 Tanques metálicos de 200 litros adaptados para pasteurización de sustratos... ..	39
Figura 12 Comportamiento del tiempo de corrida del micelio (T.C.M) del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.....	45
Figura 13 Comportamiento de los días a la formación de primordios de las dos fructificaciones del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones	49
Figura 14 Comparación de los días a la cosecha en cada fructificación del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.....	52
Figura 15 Número de colonias maduras en ambas fructificaciones del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.....	54
Figura 16 Peso de setas frescas cosechados por tratamiento del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq. sobre los diferentes residuos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones	56
Figura 17 Eficiencia biológica alcanzada del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.	57
Figura 18 Gráfico del análisis beneficio - costo de cada tratamiento sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones	61

**“PRODUCCIÓN DE HONGOS GOURMET (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) MEDIANTE
EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS EN LA
GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA”**

David Issac Vásquez Montenegro:

Universidad Técnica del Norte

Correo: divasquezm@utn.edu.ec

RESUMEN

Para esta investigación se llevó a cabo el cultivo del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) sobre cuatro residuos lignocelulósicos (bagazo de caña, totora, tamo de avena y vainas de arveja) que fueron combinados entre sí en diferentes concentraciones (30:70 – 50:50 – 70:30), dando un total de 18 tratamientos con un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) en el que se planteó determinar la duración de las etapas fenológicas, número de colonias maduras, la productividad a través de indicadores como la eficiencia biológica y el rendimiento y la rentabilidad a través de la relación B/C. Todos los tratamientos colonizaron el sustrato sin problemas de contaminación con medias que van desde los 16.33 (± 1.20) a los 26 (± 0.00) días, destacando los tratamientos que poseían totora y bagazo de caña. Por otro lado, se pudo observar que en la segunda fructificación (desde los 7 días a 13 días) los diferentes tratamientos formaron sus primordios más rápido que en la primera (desde los 12 días a 25) y en ambas fructificaciones, los cuerpos fructíferos llegaron a su madurez de cosecha entre los 6 a 7 días con 2 a 4 colonias maduras cada una.

Con respecto al rendimiento y E.B, los mejores tratamientos fueron los T1, T2, T3, T4 y T5 con medias que van desde los 589.67 g a los 684 g y del 90% al 105.01%, respectivamente. Los tratamientos T6 y T8 alcanzaron resultados aceptables para una producción comercial con una media de 512 g y 525 g (Rendimiento) y 77.60% y 72.86% (E.B); mientras que, los demás tratamientos no rindieron adecuadamente. La relación B/C fue superior a uno para todos los tratamientos, pero los mejores fueron los T3, T4 y T5 con utilidades de 10.56\$, 9.55\$ y 10.63\$ por bolsa de 2kg de sustrato, siendo sustratos que pueden ser favorables para una producción comercial del hongo ostra.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus* Jacq., cuerpos fructíferos, eficiencia biológica, miceliación, primordios, residuos lignocelulósicos, setas comestibles.

ABSTRACT

For this research, the cultivation of the oyster fungus (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) Was carried out on four lignocellulosic residues (cane bagasse, cattail, oat chaff and pea pods) that were combined with each other in different concentrations (30:70 - 50:50 - 70:30), giving a total of 18 treatments with a randomized complete block experimental design (DBCA) in which it was proposed to determine the duration of the phenological stages, number of mature colonies, productivity through indicators such as biological efficiency and yield and profitability through the B / C ratio. All treatments colonized the substrate without contamination problems with averages ranging from 16.33 (\pm 1.20) to 26 (\pm 0.00) days, highlighting the treatments that had cattail and cane bagasse. On the other hand, it could be observed that in the second fruiting (from 7 days to 13 days) the different treatments formed their primordia faster than in the first (from 12 days to 25) and in both fructifications, the fruiting bodies arrived at harvest maturity between 6 to 7 days with 2 to 4 mature colonies each.

Regarding the yield and E.B, the best treatments were T1, T2, T3, T4 and T5 with means ranging from 589.67 g to 684 g and from 90% to 105.01%, respectively. Treatments T6 and T8 reached acceptable results for a commercial production with an average of 512 g and 525 g (Yield) and 77.60% and 72.86% (E.B); while, the other treatments did not perform adequately. The B / C ratio was higher than one for all treatments, but the best were T3, T4 and T5 with profits of \$ 10.56, \$ 9.55 and \$ 10.63 per bag of 2kg of substrate, being substrates that can be favorable for a commercial production of the oyster mushroom.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, fruiting bodies, biological efficiency, primordia, lignocellulosic residues, edible mushrooms.

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

A nivel mundial se han identificado más de 70 mil especies de hongos Macromycetes el mundo, donde aproximadamente 5 mil son comestibles y 2 mil son setas con buenos contenidos nutricionales (Chang, 2004). De acuerdo con Boa (2005), se han investigado experimentalmente 100 de estos organismos comestibles, de las cuales 50 se han desarrollado para diferentes fines económicos y solo 30 se cultivan a escala comercial.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2016), la producción mundial de hongos comestibles en el año 2000 logró alcanzar los 2.6 millones de toneladas, mientras que en el 2007 llegó a 3.4 millones, lo que nos indica, que aumentó en un 30.8%, asimismo FAO (2017), menciona que el consumo de hongos comestibles en las últimas décadas ha tenido un crecimiento muy acelerado debido a las nuevas tendencias alimentarias como los vegetarianos y veganos, además de habitantes que buscan consumir productos de alta calidad nutricional que provengan de cultivos que sean amigables con el medio ambiente.

Dentro de los hongos comestibles más producidos a nivel mundial se encuentra la especie *Pleurotus ostreatus* Jacq. (Chang, 2004). La biomasa de este hongo es rica en proteínas de alta calidad nutricional debido a sus altos porcentajes los que varían del 19% al 35% dependiendo del medio en el que fueron cultivados, además de poseer 9 aminoácidos esenciales, vitaminas del grupo B, ácido ascórbico (vitamina C), ergosterol, vitamina D, y minerales como el fósforo, sodio, magnesio, calcio, hierro, manganeso, zinc y cobre (Potter, 1995). Por otro lado, con respecto a las propiedades medicinales resulta muy interesante el contenido de β -glucano que poseen, ya que es un componente muy reconocido en la medicina por su actividad antioxidante

y antitumoral además de poseer la capacidad de potencializar el sistema inmunológico de las personas que los consumen (Stamets, 2002).

Por otro lado, el cultivo de *Pleurotus ostreatus* Jacq. es diferenciado de las demás setas comestibles debido a la facilidad del cultivo, especialmente porque pueden crecer sobre una amplia variedad de sustratos que en su gran mayoría son de bajo costo y de fácil obtención, debido a que son residuos provenientes de producciones agrícolas, forestales y agroindustriales como maderas, cáscaras, bagazos y pajas de cereales (France et al., 2000).

Además, Rinker y Kang (2005) indican que una vez finalizados los ciclos de producción de cada bolsa inoculada por el hongo, se procede a realizar un manejo postcosecha de las mismas con la finalidad de realizar un compostaje que resulta de alta calidad para nutrir suelos productivos o también puedan ser destinado como alimento para ganado y así obtener una producción 100% utilizada, limpia, de calidad y amigable con el medio ambiente.

1.2. Problema

Países que se encuentran en vías de desarrollo tienen producciones agrícolas que son generadoras de grandes cantidades de residuos lignocelulósicos sin uso alguno, lo que ha provocado una serie de impactos ambientales debido al inadecuado manejo de estos, tal y como lo mencionan Guevara et al. (2016), el 80% de los residuos agrícolas son quemados, el 15% sirve como alimento para varias especies de animales, el 4.5% es reincorporado al suelo sin haberse realizado una descomposición previa y 0.5% se usa como materia prima en varias industrias como la papelera, aglomerados, entre otros.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador (INEC, 2011), Imbabura representa el 1.84% de la superficie de labor agrícola a nivel nacional, siendo las extensiones más grandes ocupadas por los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*

L.), tomate riñon (*Solanum lycopersicum* L.), maíz (*Zea mays* L.), fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), arveja (*Pisum sativum* L.), y cereales como producciones principales, lo cual genera grandes cantidades de residuos vegetales.

En una comunicación personal con Lara, D., (2019) propietario de una panelera artesanal ubicada en la parroquia de Salinas de Imbabura, los residuos generados por la agroindustria no son aprovechados en su totalidad por lo que el restante de estos es quemado, lo que nos indica que se produce contaminación al ambiente con la emisión de gases tóxicos como monóxido de carbono, dióxido de carbono, etc. los cuales contribuyen a provocar el efecto invernadero.

Por otro lado, se estima que por tonelada de arveja que se produce en un cultivo, quedan 450 kg de cáscara en peso fresco, lo que indica que aproximadamente el 45% del cultivo son residuos agrícolas en forma de cáscara (Arce, K. et, al, 2019).

Además Guaman (2019), presidente de la asociación de comerciantes del mercado Amazonas y La Playita, indica que existe un inadecuado manejo de los desechos vegetales que se generan en los mismos, los cuales son botados en los basureros de recolección general de cada uno y que posteriormente son vertidos en el de la ciudad; dentro de estos desechos se encuentran las vainas de arveja que se generan en grandes cantidades debido a que es uno de los productos más comercializados en este sector (Comunicación personal).

Asimismo, para el mantenimiento ecológico y de paisajismo de la laguna de Yahuarcocha y el Lago San Pablo, los gobiernos autónomos descentralizados (GADS) de cada cantón realizan limpiezas de totora por el excesivo crecimiento de éstas en los bordes, desechándolos sin tratamiento alguno tal y como lo menciona Ponce (2019) Gerente General de la compañía mixta de Yahuarcocha. Además, pobladores de los cantones mencionados usan la totora como fuente alimenticia para su ganado mediante pastoreo, quedando estas plantas maltratadas y pisoteadas

en el sitio, provocando una imagen inadecuada para estos lugares turísticos (Comunicación personal).

Por otro lado Pedraza (2003), menciona que la tasa de crecimiento de la población mundial es muy acelerada, dando como resultado grandes cantidades de personas con limitado acceso a alimentos nutritivos, lo que ha ocasionado un aumento exponencial de la demanda de productos cárnicos debido a que es la fuente nutricional más completa para los seres humanos, tal y como lo menciona Calero (2011), quien afirma que hay familias cuyos recursos económicos apenas les alcanza para sobrevivir el día a día y por tanto, su presupuesto llega a ser insuficiente para adquirir una variedad de alimentos que satisfagan sus necesidades nutricionales provocando una severa desnutrición.

1.3. Justificación

Por medio de esta investigación teórico - práctica, principalmente se busca brindar una alternativa óptima mediante el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos que se obtienen de las producciones agrícolas, forestales y agroindustriales de la provincia de Imbabura para la producción de un alimento de alta calidad nutricional y medicinal como son los hongos ostra y así lograr mejorar los ingresos de los pequeños productores agrícolas y emprendedores del sector, obteniendo una producción de forma sostenible, disminuyendo la contaminación del ambiente y buscando integrar los recursos naturales disponibles.

De acuerdo con la forma de nutrición de los hongos del género *Pleurotus*, estos se alimentan de materia muerta o en descomposición (saprófitos), conviven con otros microorganismos y obtienen mutuo beneficio (simbiontes) y se beneficia de un huésped al implantarse en él sin aportarle ninguna ventaja (parásitos) (Murray et al., 2009), lo que indica que pueden crecer dentro de una gran variedad de residuos lignocelulósicos que se encuentran en grandes

cantidades por todo el mundo. Por tal motivo, para ésta investigación se ha planteado trabajar con desechos vegetales provenientes de producciones agrícolas como el tamo de avena (*Avena sativa* L.) y vainas de arveja (*Pisum sativum* L.), agroindustriales como el bagazo de caña (*Saccharum officinarum* L.) y forestales como la totora (*Schoenoplectus californicus* K.) de la provincia de Imbabura, los cuales son desechos de las producciones más extensivas siendo materias primas que poseen altos contenidos de fuentes carbonadas (lignina, celulosa y hemicelulosa) con rangos que son óptimos para la producción del hongo ostra. La utilización de este tipo de residuos lignocelulósicos supone ser una alternativa amigable con el medio ambiente tal y como lo menciona Martínez et al. (2004) que mediante la aplicación productiva de esta actividad se pueden colectar cerca de 386 000 toneladas anuales de residuos agroindustriales y forestales.

Además, a través de la producción de hongos comestibles, se puede generar un alimento rico en proteínas y saludable con un bajo costo de producción y por ende un bajo costo de comercialización que sea accesible para la población de bajos recursos económicos y así los consumidores puedan satisfacer sus necesidades nutricionales con un producto económico de alta calidad, tal y como lo menciona Escobedo (2006), la eficiencia de conversión de proteína por unidad de área y por unidad de tiempo en la producción de setas comestibles, es muy superior a las fuentes de proteína animal.

Adicionalmente, Bonatti et al. (2004), indican que los hongos ostra presentan elevadas cantidades de proteínas que van del 30 al 45%, con todos los aminoácidos esenciales, hidratos de carbono, minerales como calcio, fósforo, hierro, y vitaminas como la tiamina, riboflavina, niacina y calciferol, además cuenta con antioxidantes como los compuestos fenólicos, tocoferol y ácido ascórbico, así como un bajo contenido de grasa; pese a ello es fuente significativa de ácidos grasos (oleico y linoleico, principalmente).

Dentro del aspecto medicinal Corrêa et al. (2016), afirman que se ha aislado a partir del hongo ostra una considerable cantidad de compuestos como lectinas, policétidos, ácidos grasos, terpenoides, betaglucanos, entre otros, que presentan propiedades antibióticas, antivirales, anticancerígenas, antitumorales, antiinflamatorias, prebióticas, inmunomoduladoras e hipocolesterolémicas lo que lo hace ser un alimento con un gran potencial medicinal.

Por otro lado, la demanda del consumo de hongos comestibles ha ido en aumento desde dos décadas atrás al presente año y en Ecuador este mercado se está potencializando, por lo cual, esta nueva actividad puede ser explotada y aprovechada de manera eficiente para generar una producción sustentable; además, el cultivo de hongos comestibles actúa de manera eficiente brindando un gran desarrollo económico con la generación de varios puestos de trabajo, especialmente para personas propias del lugar donde se produzcan las setas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la producción de *Pleurotus ostreatus* Jacq. mediante el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en la “Granja Experimental La Pradera”

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de duración de las etapas fenológicas del hongo *Pleurotus ostreatus* Jacq., mediante evaluaciones periódicas para la identificación del mejor tratamiento.
- Evaluar la eficiencia biológica de los diferentes tratamientos mediante el rendimiento para la producción de setas de *Pleurotus ostreatus* Jacq.

- Analizar la oportunidad de rentabilidad a través de la relación beneficio/costo para la identificación del mejor tratamiento.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis nula

La relación C/N no influye en la eficiencia biológica para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*.

1.5.2. Hipótesis alternativa

Al menos uno de los tratamientos sirve como una alternativa eficiente para la producción comercial del hongo *Pleurotus ostreatus*.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

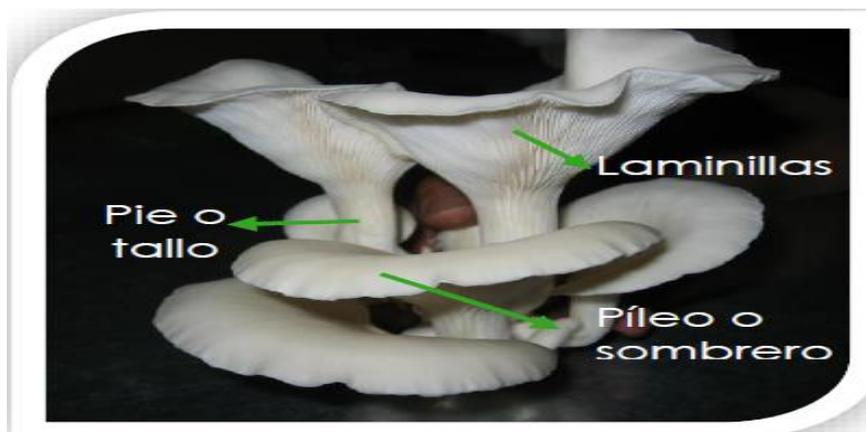
2.1. Características del hongo ostra

2.1.1. Morfología

El hongo o seta *Pleurotus ostreatus* Jacq. es un organismo comestible de alta calidad nutricional y medicinal que ya se lo consume a nivel mundial. Se lo llama ostra debido a su forma y color del cuerpo fructífero (sombrero o carpóforo), aunque en otros países los llaman orellanas, gírgolas, seta de concha, orejón y auriana (Pineda, 2016).

Figura 1

Morfología del hongo ostra (Pleurotus ostreatus Jacq.)



Nota. Adaptado de Champiñón ostra “Guía práctica de producción artesanal” (p.8),

Fuente: J. Pineda (2016), CEBA.

2.2. Clasificación taxonómica del hongo ostra

En la **Tabla 1** se identifica la clasificación taxonómica del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* Jacq.)

Tabla 1*Clasificación taxonómica del hongo ostra*

Reino	Fungi
Filo	Basidiomycota
Clase	Homobasidiomycetes
Orden	Agaricales
Familia	Pleurotaceae
Género	<i>Pleurotus</i>
Especie	<i>P. ostreatus</i>
Nombre binomial	<i>Pleurotus ostreatus</i>

Nota. Adaptado de Manual del cultivador de hongos 1 (p.53), por S. Cho, 2005

2.3. Características fisiológicas de *Pleurotus ostreatus* Jacq.

Según Garcia (2007), *Pleurotus ostreatus* Jacq. son hongos que tienen la capacidad de producir enzimas digestivas para degradar las moléculas de carbono de gran tamaño como la lignina, quitina, celulosa y hemicelulosa absorbiendo los nutrientes disueltos del sustrato, las cuales constituyen la base nutricional para el desarrollo micelial. Gatián et al. (2006) menciona que todos los hongos macromycetes necesitan una fuente carbonada dado que están desprovistos de clorofila, y no pueden realizar la fotosíntesis. Por ese motivo pueden vivir y crecer sobre materia orgánica muerta.

2.4. Importancia del cultivo de la especie *Pleurotus ostreatus* Jacq.

2.4.1. Propiedades nutricionales

Además de su gran potencial gastronómico debido a sus óptimas características organolépticas, el valor nutritivo de *Pleurotus ostreatus* Jacq. ha sido reconocido desde hace mucho tiempo

atrás tal y como lo mencionan Gatián et al. (2006), quienes indican que los hongos son un alimento muy sabroso, nutritivo y bajo en calorías, contienen entre el 10 - 40% de proteínas en base seca, superior al de la mayoría de los vegetales, además de todos los aminoácidos esenciales, tales como, lisina, leucina, valina, isoleucina, entre otros. El hongo ostra es rico en carbohidratos, vitaminas, fibra y minerales; posee un bajo contenido de grasas, vitaminas como el complejo B, vitamina B1 (tiamina), vitamina B2 (riboflavina), vitamina B3 (niacina), vitamina B12; además de vitaminas C y D, y fuentes minerales tales como hierro, calcio, sodio, fósforo y potasio (Bonatti et al., 2004).

2.4.2. Propiedades medicinales

De acuerdo con López (2002), el hongo *Pleurotus ostreatus* Jacq. es considerado como un probiótico de alta calidad, lo que significa que ayuda al organismo a combatir diferentes enfermedades virales, bacterianas, entre otros, restaurando el bienestar y el equilibrio natural, haciendo que el sistema inmune funcione correctamente para eliminar a los agentes externos que pudieran desequilibrar la salud del individuo. Además, Martínez et al. (2004), indican que el bajo contenido de grasa y sodio, más el de potasio, son fuentes de gran importancia para padecimientos cardiovasculares y estados de hipertensión, así como para combatir la obesidad o problemas digestivos.

Por otro lado, el hongo ostra contiene polisacáridos con la capacidad de reducir o retardar el crecimiento de células cancerosas y tumorales (López, 2002). Además, contiene una gran cantidad de compuestos como lectinas, terpenoides betaglucanos, policétidos, ácidos grasos, entre otros que actúan como antibióticos, antiinflamatorios, antivirales, antitumorales, hipocolesterolémicas e inmunomoduladores (Corrêa et al., 2016).

2.5. Características generales del cultivo del hongo ostra

2.5.1. Ambiente

Song (2005), indica que para el desarrollo óptimo de los hongos en los distintos tipos de producción, tanto en su fase vegetativa como en la reproductiva, es de mucha importancia contar con ambientes adecuados, donde se pueda tener un manejo controlado de temperatura, humedad relativa, luz, concentración de dióxido de carbono y ventilación, debido a que los hongos al no poseer piel, son muy susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, además menciona que hay que tener una absoluta asepsia del ambiente, libre de insectos y de cualquier otro tipo de microorganismos ya que puede provocar contaminaciones en los sustratos y perjudicar la producción.

2.5.2. Temperatura

La temperatura es un factor muy importante para obtener un desarrollo adecuado de la biomasa y estructura externa del hongo, ya que por medio de una temperatura controlada en cada estadio fenológico, se puede lograr una mejora en el rendimiento y obtener setas de gran calidad y por ende una excelente productividad (Stamets, 2005).

Según Gatián et al. (2006), la temperatura óptima del ambiente varía en las diferentes etapas del cultivo, por tal motivo, en la etapa vegetativa (fase micelial), los hongos necesitan una temperatura ambiental que va de 20 a 30 °C; mientras que en la etapa reproductiva (fase de fructificación), la temperatura debe mantenerse entre 10 y 16 °C para inducir a la formación de primordios y a su vez para el desarrollo hasta la madurez de cosecha.

Es muy importante mantener controlada la temperatura ambiental en todas las etapas del cultivo, debido a que influye directamente en la temperatura del sustrato, ya que si es mal

manejada afectaría al desarrollo del hongo o incluso provocar la pérdida completa de la producción, así como lo menciona Silva et al. (2010), donde afirma que en la fase vegetativa la temperatura no debe bajar de 5 °C, ni subir de 40 °C, debido a que a estas temperaturas el micelio moriría.

2.5.3. Humedad

El manejo de humedad es de vital importancia en las producciones ya que es uno de los factores más importantes para que el cultivo sea resistente y tenga una buena producción, además de prevenir daños en la superficie del sustrato y los cuerpos fructíferos, ya que si el manejo es inadecuado se provocaría pérdida o exceso de humedad en el sustrato o en las setas provocando enfermedades o la presencia de plagas (Stamets, 2005).

Según Kwon (2005), es recomendable regar agua en los pisos y el aire a través de nebulización o humidificadores para aumentar la humedad relativa ya que el hongo absorbe la humedad del ambiente para crecer; además menciona, que no es aconsejable regar directamente sobre las fundas debido a que puede atraer a muchos patógenos por el exceso de humedad que se generaría en el sustrato, ni mucho menos en los cuerpos fructíferos ya que provocaría enfermedades como la mancha marrón bacteriana *Pseudomonas tolaasii* P.

Por otro lado, Gatián et al. (2006) indica que durante todo el cultivo, la humedad del sustrato debe ser del 60 al 75% y la humedad relativa debe encontrarse entre el 60% - 70% en su fase vegetativa mientras que en la fase de fructificación (fase reproductiva) la humedad relativa debe ser del 80 al 100%.

2.5.4. Iluminación

La fase de incubación del hongo no requiere de luz ya que esta fase debe ser en plena oscuridad; sin embargo, la fase de fructificación requiere de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad (Stamets, 2005). De acuerdo con Flores (2006), la luz tiene relación con el color del hongo, es decir, si la luz es muy intensa, el hongo genera un color más claro, se seca y sus troncos son alargados mientras que la ausencia o poca luz conlleva a una baja producción.

Por otro lado, Vedder (1996) indica que los hongos requieren iluminación indirecta o difusa, por lo que hay que tener un buen manejo de iluminación para no ocasionar malformaciones de las setas, además menciona que la luz natural se puede sustituir por la luz artificial con tubos fluorescentes de 200 a 500 lux situados en la cámara de cultivo.

2.5.5. Ventilación

Los hongos ostra son organismos aerobios, lo que indica que necesitan de aire fresco durante su crecimiento, aunque requieren de más ventilación durante su etapa reproductiva (Stamets, 2005). Según Cuervo y Garzón (2008) en la fructificación, el CO₂ en el ambiente no debe ser mayor a 800 ppm y el oxígeno debe ser del 20%. Una ventilación excesiva puede causar grandes pérdidas de agua y el endurecimiento del sustrato, mientras que con una ventilación insuficiente, el crecimiento del hongo se retrasa y existen mal formaciones de las setas (Cha, 2005).

A continuación, se detalla en la **Tabla 2** un resumen de las condiciones óptimas que se requieren para la producción de hongos ostra.

Tabla 2

Condiciones ambientales, características físicas del sustrato y operaciones de pasteurización óptimas para la producción del hongo ostra

Proceso	Condición	Rango
Pasteurización	Temperatura	90 °C
	Duración	2 - 3 hora
Sustrato	Humedad	70-75%
	Temperatura	20-25 °C
Colonización	Temperatura ambiental	25-28 °C
	Humedad ambiental	70-80%
	Concentración de CO ₂	5000 ppm
	Duración	20-30 días
Inducción	Temperatura ambiental	10-27 °C
	Humedad ambiental	95-100%
	Luz	12 horas/día
	Concentración de CO ₂	400-800 ppm
	Duración	3-5 días
Producción	Temperatura ambiental	18-24 °C
	Humedad ambiental	85-90%
	Concentración CO ₂	400-800 ppm

Nota. Adaptado de An Informational Treatise on Mushrooms, (pp.34 - 55), por Stamets, 2002, Medical Mushrooms.

2.6. Cultivo en fundas de polipropileno

Este método de cultivo es el más utilizado en todo el mundo debido a las óptimas producciones que se han alcanzado en relación a otras metodologías antiguas, sin embargo, el tamaño, forma, número de fundas y los tiempos de cosecha presentan diferencias en cada región; así mismo, las etapas de producción en este método incluyen preparación del sustrato, pasteurización, siembra, colonización, inducción, producción y cosecha (Kwon, 2005).

2.6.1. Preparación de los sustratos

Los residuos vegetales que se van a utilizar como sustrato deben tener un tamaño de partícula adecuado para lograr un buen desarrollo del hongo como por ejemplo los sustratos como pajas de cereales y rastrojos, se pican en trozos de 2.5 a 5 cm de longitud, con la finalidad de aumentar la superficie de contacto, mejorar la estructura física del sustrato el cual ayuda en la oxigenación, mejorar la acción enzimática del hongo, y facilitar la invasión micelial en el sustrato (Kwon, 2005). De acuerdo con Gatián et al. (2006), si la longitud de partícula es muy pequeña, pueden provocar una compactación severa en el sustrato; mientras que, si el tamaño es mayor, no permitirá una retención de humedad adecuada en el mismo, además menciona que el material a utilizar como sustrato debe estar seco, sin sobrepasar el 5% de humedad.

Una vez que el material ha sido picado, se procede a la aplicación de aditivos (cal, yeso y melaza) y la rehidratación del mismo en el cual se debe alcanzar una humedad del 60 al 80%, generando una mezcla totalmente homogénea para proceder al empaque (Mitchell et al., 2006).

2.6.2. Pasteurización

Stamets (2005), indica que este proceso térmico tiene por objeto eliminar microorganismos indeseables que compitan con el hongo a cultivar por espacio y nutrientes, además menciona

que existen dos métodos de pasteurización que se utilizan en producciones comerciales que son por sumersión en agua caliente y por vapor, utilizando tanques metálicos de 200 litros o cuartos adecuados para este proceso; por otro lado indica que para la pasteurización a vapor se coloca una parrilla dentro del tanque a una altura de 20 cm para colocar las bolsas de sustratos para que no haya contacto con el agua que se encuentra entre la base y la parrilla.

El tiempo de pasteurización depende del estado del sustrato, es decir, si es de buena calidad y limpio, pueden bastar de 30 a 45 minutos a 90 °C; pero, si es antiguo y contaminado se debe aumentar el tiempo de 3 a 5 horas cuando es por sumersión (Gatián et al., 2006); mientras que por vapor deben estar de 2 a 5 horas a una temperatura de 100 °C (Quimio, 1990).

2.6.3. Siembra

La siembra se puede realizar sobre una mesa limpia y previamente desinfectada y flameada con alcohol al 90%, donde se coloca el sustrato pasteurizado y escurrido para posteriormente aplicar los aditivos y embolsar (Flores, 2006), así mismo menciona que se debe procurar que no haya ingreso de aire a esta área para evitar contaminaciones y además trabajar siguiendo los protocolos de esterilidad.

De acuerdo con Mata (2006), la cantidad de semilla para la siembra puede variar entre 0.8 y 15% del peso húmedo del sustrato y no afectar el rendimiento de *Pleurotus ostreatus* Jacq. además, indica que el valor adecuado depende de la cepa, del inóculo y del sustrato utilizado.

2.6.4. Colonización o incubación

La colonización o incubación consiste en proporcionar al hongo las condiciones óptimas para un buen desarrollo, haciendo que invada el sustrato en un tiempo adecuado que va de 15 a 20

días; estas condiciones son de 20 a 28 °C de temperatura (según la cepa), bajo intercambio gaseoso, humedad entre el 60 y 80%, y plena oscuridad (Flores, 2006).

Según De León (2010), el bajo intercambio gaseoso permite que se acumule CO₂, producto de la respiración y crecimiento del hongo, lo cual ayuda a la eliminación de contaminantes que no toleran dichas condiciones, además menciona que el micelio del hongo ostra tiene un máximo crecimiento cuando existe un 28% de CO₂.

Por otro lado, Guarín y Ramírez (2008), mencionan que la incubación termina cuando el sustrato se encuentra completamente colonizado por el micelio en un tiempo de 2 a 4 semanas dependiendo de la composición físico química del residuo lignocelulósico y las condiciones del ambiente, lo cual se nota por el color blanco que adquiere la bolsa.

2.6.5. Inducción

La inducción consiste en el estímulo que se brinda al hongo para formar los primordios, que son del tamaño de un alfiler en formas de dedos que aparecen aproximadamente de 10 a 14 días después de la inoculación (Kwon, 2005).

2.6.6. Producción o fructificación

En esta etapa, se alcanza la máxima formación de los cuerpos fructíferos en donde se producen los sombreros, también llamados carpóforos, basidiocarpos, callampas o píleos; estos sombreros nacen en ramilletes o colonias y se desarrollan de 4 a 6 días desde el día que se observan los primeros botones (De León, 2010).

2.6.7. Cosecha

Según Nieto y Chegwin (2010), la cosecha de los hongos se la realiza manualmente y con mucho cuidado tomando la colonia desde la base, realizando movimientos de arriba abajo hasta

desprenderlo del sustrato, tomando como parámetros principales que el sombrero esté bien desarrollado, de consistencia compacta y totalmente extendido, sin que los bordes se encuentren hacia arriba.

2.7. Problemas del cultivo

2.7.1. Pestes o plagas

Cha (2005), indica que el cultivo de hongos ostra, por sus condiciones ambientales es muy susceptible para la aparición de plagas, debido a su temperatura y humedad alta, dentro de estas plagas se conocen cinco tipos de moscas (*Lycoriella mali* F., *Coboldia fuscipes* M., *Mycophila* spp., *Megaselia tamiladuensis* D. y *Mycetophila* spp.) y dos tipos de ácaros (*Tarsonemus* spp. y *Histiostoma* spp.).

2.7.2. Enfermedades

Pineda (2016), indica que las enfermedades son causadas por hongos, virus y bacterias; estas aparecen si la pasteurización no fue la adecuada o la manipulación de las bolsas en la fase vegetativa no se realizó con las medidas óptimas de esterilidad, además menciona que las contaminaciones más comunes son causadas por otro tipo de hongos del género *Trichoderma* y del género *Fusarium*.

2.8. Relación carbono/nitrógeno

Según Cho (2005), todos los hongos necesitan de fuentes de carbono principalmente, además de nitrógeno y compuestos orgánicos o inorgánicos como nutrientes, pero sin embargo, la cantidad requerida de cada una difiere con la variedad del hongo como por ejemplo el champiñón (*Agaricus bisporus* J.) necesita fuentes de altos contenidos de nitrógeno siendo 17 la proporción óptima de C/N del sustrato mientras que para el hongo ostra o shiitake necesitan

menos nitrógeno y más carbón. Asimismo, Francisco y Gea (2011) recomiendan para la producción del hongo ostra una concentración final de nitrógeno en el sustrato del 0.6 al 1.5% y la relación C/N de un amplio rango que va de 30 a 300.

2.8.1. Composición química de los residuos

Según Salval (2012) las características de los residuos agroindustriales son muy variadas, dependen de la materia prima y del proceso que los generó, no obstante, comparten una característica principal que es el contenido de materia orgánica, constituida por diferentes porcentajes de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina.

2.8.2. Celulosa

De acuerdo con Atlas y Bartha (2006), la celulosa es el compuesto más simple encontrado en el material lignocelulósico de las plantas a lo largo de todo el mundo, el cual está constituido por un polímero de residuos de D-glucosa unidos por enlaces β -1,4 en donde por su estructura las cadenas de celulosa están unidas por puentes de hidrógeno intermoleculares que forman agregados (microfibrillas).

Por otro lado, Martín (2005) menciona que los hongos Macromycetes tienen la grandiosa capacidad de degradar la celulosa a través de la producción de enzimas (endo- β -1,4-glucanasa, el complejo Cx y endo- β -1,4-glucosidasa).

2.8.3. Hemicelulosa

Según Atlas y Bartha (2006), la hemicelulosa está constituida por cadenas cortas, las cuales son polímeros heterogéneos que contienen hexosa (azúcares de 6 carbonos como glucosa, manosa y galactosa) y pentosas (azúcares de 5 carbonos como xilosa y arabinosa), además menciona que dependiendo de la especie o variedad de planta, estos azucares se asocian con ácidos

urónicos, donde forman estructuras poliméricas diferentes que pueden estar relacionadas con la celulosa y la lignina.

Por otro lado, Martín (2005) afirma que los hongos Macromycetes tienen la capacidad de degradar la hemicelulosa por medio de la alta producción de enzimas digestivas como son: xilanasas, galactanasas, manasas, arabinasas y glucanasas.

2.8.4. Lignina

Atlas y Bartha (2006) mencionan que la lignina es un polímero complejo tridimensional, de alto peso molecular, globular e insoluble, formado por unidades de fenil propano cuyos enlaces son relativamente fáciles de hidrolizar a través de las enzimas o a su vez químicamente.

Por otro lado, Martín (2005) menciona que los hongos Macromycetes pueden degradar la lignina por medio de la producción de enzimas como son lacasa, lignina peroxidasa y manganeso peroxidasa.

2.9. Materias primas

2.9.1. Bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)

Según Gómez y Blanco (2000), el bagazo de caña de azúcar es un residuo agroindustrial lignocelulósico fibroso remanente de los tallos de caña, que constituye a un conjunto heterogéneo de partículas con diferentes tamaños que oscilan entre 1 y 25 mm, que además contiene principalmente como polímeros naturales a la celulosa, hemicelulosa y lignina.

De acuerdo con Gastón et al. (2000), desde el punto de vista químico el bagazo de la caña de azúcar está compuesto, aproximadamente de 41-44% de celulosa, 25-27% de hemicelulosas, 20-22% de lignina y 8-10% de otros componentes, entre estos las cenizas. La celulosa y

hemicelulosas componen la fracción carbohidrática del bagazo a la que se le denomina analíticamente como holocelulosa.

2.9.2. Tamo de avena (*Avena sativa* L.)

Flores (2006), indica que la paja de cereales es un subproducto fibroso altamente disponible, que podemos encontrarlo en cualquier parte del país debido a su alta demanda del cereal y el tamo usada en las producciones ganaderas, equinas y porcícolas, además menciona que el tamo de avena contiene un entre 31% y 37% de celulosa, 16% y 19% de lignina, 27% y 30% de hemicelulosa y 6% y 8% de cenizas.

2.9.3. Totora (*Schoenoplectus tatora* Kunth.)

De acuerdo con Mejía (2000), la totora de la provincia de Imbabura posee el 30.71% de hemicelulosa, 66.79% de celulosa y el 27.8% de lignina.

Por otro lado, Apaza (2003) menciona que la totora es utilizada de diferentes maneras como, por ejemplo, para la alimentación animal, construcción de viviendas, consumo humano, molde para quesos, medicina tradicional, combustible, substratos, fabricación de balsas, fabricación de quesanas, artesanías e infinidad de usos en la actividad pecuaria.

2.9.4. Vainas de arveja (*Pisum sativa* L.)

Según (Arce, K. et, al, 2019), del cultivo de arveja quedan residuos como el tamo, la cáscara y los frutos que presenten daños por manipulación o con signos de haber sido afectados por alguna plaga o enfermedad e indica que se estima que por tonelada de arveja que se produce en un cultivo, queda 450 kg de cáscara de arveja en peso fresco, lo que indica que aproximadamente el 45% del cultivo de arveja son residuos agroindustriales en forma de

casara. Por otro lado, desde el punto de vista químico, este residuo lignocelulósico posee 15.1% de lignina, 44.9% de celulosa y 28.4% de hemicelulosa (Ramos, 2015).

2.10. Marco legal

Con la finalidad de cumplir con algunos de los objetivos expresados en el Plan de desarrollo “Toda una vida” (2017-2021) se enumera los siguientes; Objetivo 3 (3.4, 3.5, y 3.7). la producción de estas setas *P. ostreatus* Jacq. busca mitigar, el impacto ambiental que generan algunos monocultivos extensivos, impulsando así un cambio en la sociedad. Además de generar una economía circular en las comunidades que deseen multiplicar este proyecto.

Objetivo 5 (5.8) Generar una producción con parámetros sustentables y sostenibles, fomentando el uso de tecnologías duraderas y ambientalmente limpias.

Objetivo 6 (6.1 y 6.5) Ofreciendo una oportunidad de mejorar la economía en zonas rurales generando menor impacto con sus desechos, además obteniendo un producto de excelente calidad de forma directa a los productores rurales.

CAPÍTULO III

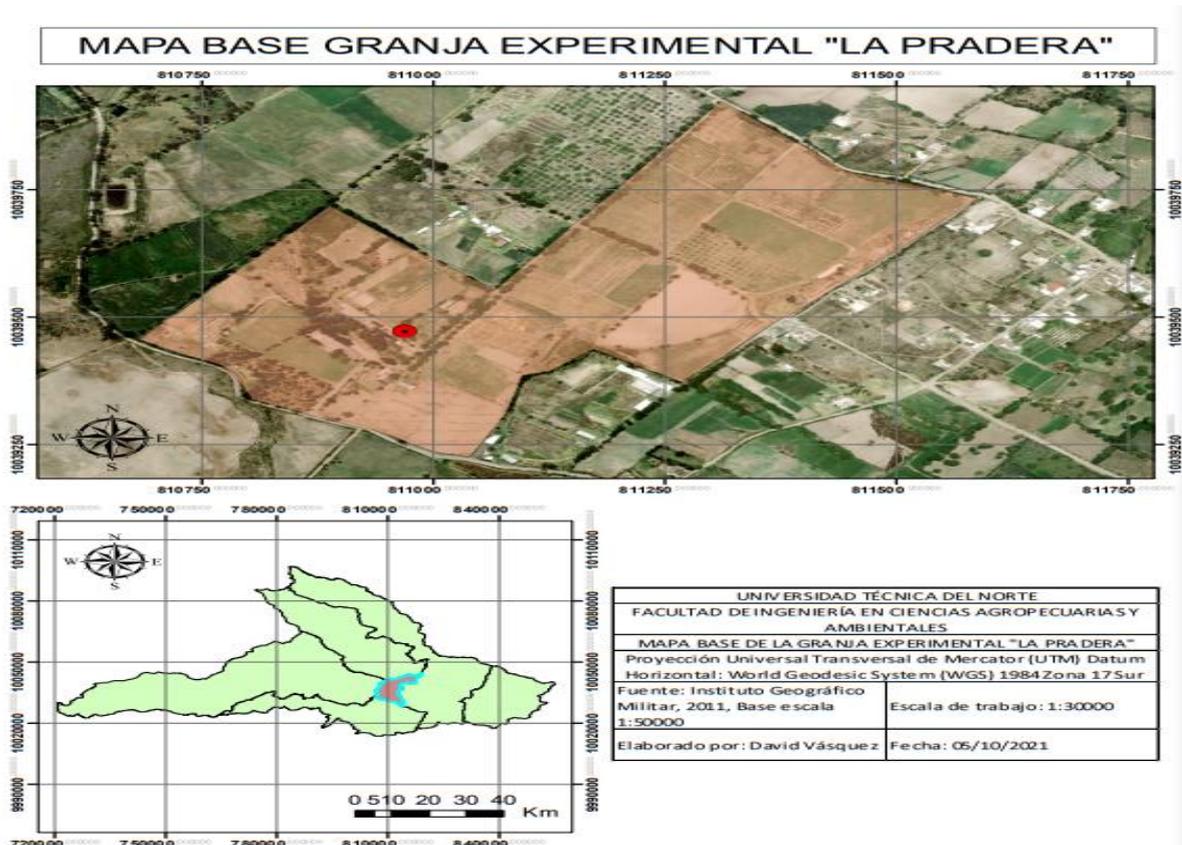
MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se la realizó en La Granja Experimental “La Pradera” perteneciente a la Universidad Técnica del Norte; se encuentra en latitud Norte $0^{\circ}21'19''$ y longitud Oeste $78^{\circ}11'32''$ en la parroquia de San José de Chaltura perteneciente al cantón Antonio Ante de la Provincia de Imbabura a una altura de 2340 msnm y con una temperatura promedio de 16°C (Figura 2).

Figura 2

Ubicación geográfica de la Granja Experimental La Pradera (lugar de la experimentación)



3.2. Materiales

3.2.1. Materias primas

- Bagazo de caña
- Totorá
- Tamo de avena
- Vainas de arveja

3.2.2. Herramientas

- Fundas plásticas de polipropileno de alta densidad
- 4 tanques de pasteurización
- 4 quemadores industriales
- Manguera industrial para gas
- 2 tanque de gas
- 2 higrómetro
- 1 calentadores eléctricos
- Sistema de riego (micronebulización)
- Guantes quirúrgicos
- Cubre bocas
- Cofia
- Alcohol al 70% y 90%
- Libro de campo

3.2.3. Insumos y equipos

- Semilla de hongos ostra (*Pleurotus ostreatus* Jacq.)

- Carbonato de calcio
- Yeso
- Melaza
- Computadora
- Impresora
- Balanza analítica marca Camry modelo EK3650
- Calibrador metálico Stainless Hardened

3.3. Métodos

3.3.1. Factores de estudio

3.3.1.1. Factor A: Combinaciones

A1: Totora + Vaina de arveja

A2: Totora + tamo de avena

A3: Totora + bagazo de caña

A4: Tamo de avena + vaina de arveja

A5: Bagazo de caña + vaina de arveja

A6: Tamo de avena + bagazo de caña

3.3.1.2. Factor B: Concentraciones

B1: 70% - 30%

B2: 50% - 50%

B3: 30% - 70%

3.3.2. *Tratamientos*

Los tratamientos obtenidos en el presente estudio se detallan en la **Tabla 3**, con sus respectivas combinaciones y concentraciones de cada uno, además se detallan los códigos con los que se trabajaron durante la investigación.

Tabla 3

Tratamientos del experimento con su respectiva combinación y concentración de cada residuo vegetal

Tratamiento	Combinación	Concentración	Código
T1	Totora + tamo de avena	30% - 70%	Tota 3070
T2	Totora + tamo de avena	50% - 50%	Tota 50
T3	Totora + tamo de avena	70% - 30%	Tota 7030
T4	Totora + bagazo de caña	30% - 70%	Toba 3070
T5	Totora + bagazo de caña	50% - 50%	Toba 50
T6	Totora + bagazo de caña	70% - 30%	Toba 7030
T7	Totora + vainas de arveja	30% - 70%	Tov 3070
T8	Totora + vainas de arveja	50% - 50%	Tov 50
T9	Totora + vainas de arveja	70% - 30%	Tov 7030
T10	Tamo de avena + bagazo de caña	30% - 70%	Taba 3070
T11	Tamo de avena + bagazo de caña	50% - 50%	Taba50
T12	Tamo de avena + bagazo de caña	70% - 30%	Taba 7030

T13	Tamo de avena + vainas de arveja	30% - 70%	Tav 3070
T14	Tamo de avena + vainas de arveja	50% - 50%	Tav 50
T15	Tamo de avena + vainas de arveja	70% - 30%	Tav 7030
T16	Vainas de arveja + bagazo de caña	30% - 70%	Vaba 3070
T17	Vainas de arveja+ bagazo de caña	50% - 50%	Vaba 50
T18	Vainas de arveja+ bagazo de caña	70% - 30%	Vaba 7030

3.3.3. *Diseño experimental*

Se implementó un diseño por bloques completos al azar (DBCA) con tres bloques, donde cada uno constó de seis combinaciones con tres concentraciones de cada una, lo cual dio un total de 18 unidades experimentales. Cada unidad experimental fue conformada por dos bolsas de sustrato de cada tratamiento debido a los posibles problemas de contaminación, por lo tanto, dio un total de 36 bolsas de sustrato por bloque dando un total de 108 bolsas de sustrato en los tres bloques. La **Figura 3** indica el diseño experimental que se usó en la fase incubación, mientras que en la **Figura 4** se indica el diseño experimental de la fase de fructificación.

Figura 3

Diseño experimental de la investigación en la fase vegetativa del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. (área de incubación)

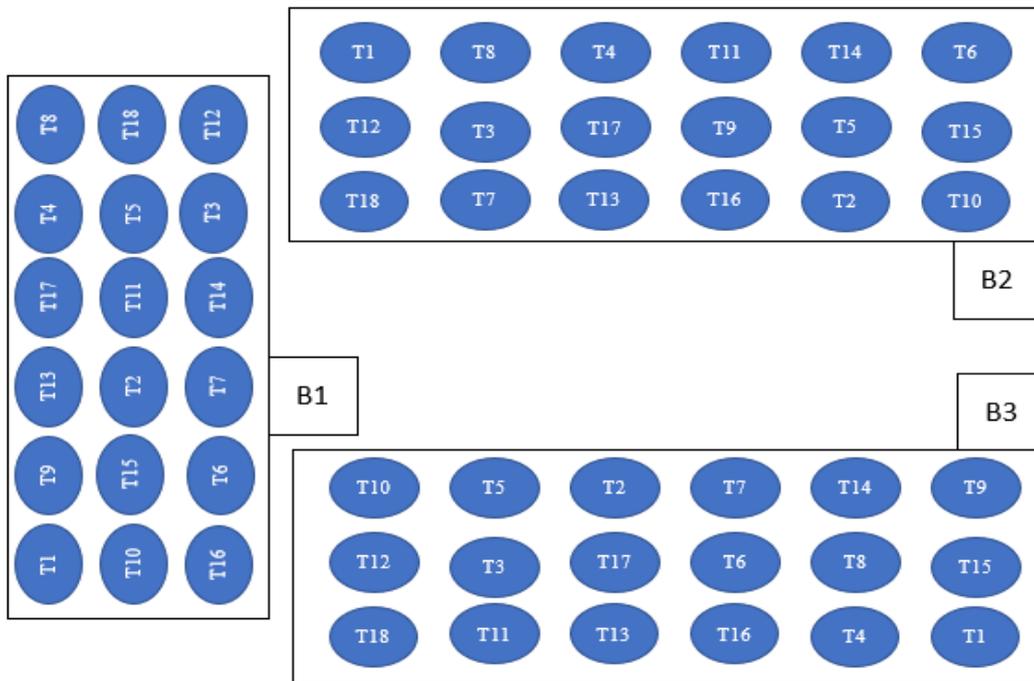
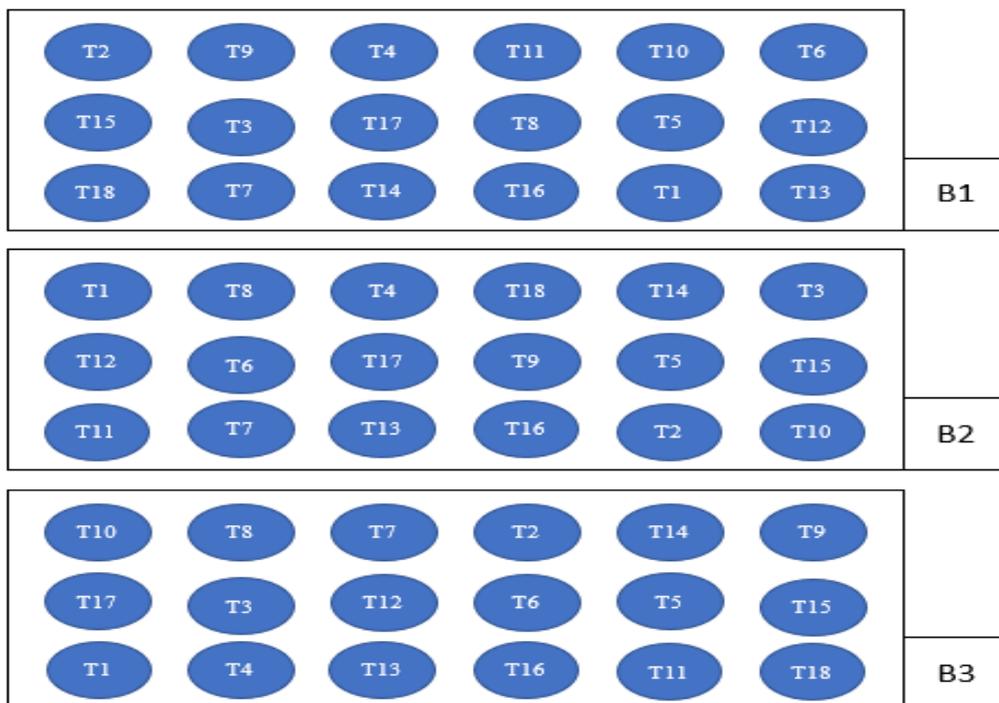


Figura 4

Diseño experimental de la investigación de la fase reproductiva del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. (área de fructificación)



3.3.4. Características del experimento

Bloques	3
Total de tratamientos	18
Total de unidades experimentales	54
Área total del experimento	32 m ²

3.3.5. Unidad experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por dos bolsas de sustrato de 2.5 kg con sus respectivas combinaciones y concentraciones de los residuos lignocelulósicos, que pasaron por dos fases de producción (fase micelial y fase de fructificación) para su desarrollo total.

Dimensiones de la funda	30 cm x 45 cm
Descripción de funda	Polipropileno de alta densidad
Humedad del sustrato/bolsa	60% al 70%
pH	5.5 – 6.5
Distancia entre bolsas	5 cm
Distancia entre unidad experimental	20 cm

3.3.6. Análisis estadístico

Se utilizó el software INFOSTAT para el análisis estadístico de todas las variables evaluadas, mediante el ADEVA con prueba de Fisher al 5%, tal y como se indica en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Esquema de ADEVA en diseño de bloques completos al azar (DBCA)

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloque	2
Tratamiento	17
Error	34
Total	53

3.4. Variables a evaluar

Las variables a mencionar se realizaron a las mismas bolsas que se eligieron de cada tratamiento después de la etapa de miceliación, las cuales fueron aquellas que presentaron condiciones óptimas para un buen desarrollo en el cultivo.

3.4.1. Tiempo de corrida del micelio (T.C.M)

El tiempo de corrida del micelio se determinó con el número de días que demoró el hongo en miceliar el 100% del sustrato a partir del día de la siembra como día cero (**Figura 5**). Los monitoreos de miceliación y contaminación se realizaron al mismo tiempo cada cuatro días durante los primeros 12 días debido a que si se frecuenta mucho el ingreso al área de incubación se puede generar un alto porcentaje de contaminación del lote. A partir del día 12, los monitoreos se realizaron diariamente ya que algunos tratamientos presentaron miceliaciones mayores al 90%, las cuales podían completar la miceliación total del sustrato en el transcurso

del día o del día siguiente. Por otro lado, es importante mencionar que una vez que las bolsas alcanzan más del 70% de miceliación se vuelven más resistentes a las contaminaciones.

Figura 5

Corrida del micelio en el sustrato de los 3 primeros monitoreos. Foto 1 (T15): 15%, foto 2 (T14): 50%, foto 3 (T12): 98% sucesivamente



3.4.2. Días a la formación de primordios

Este dato se reportó en número de días en el que se observó la aparición de los primeros brotes del hongo a partir del día en que se cambió la bolsa del cuarto de incubación al cuarto de fructificación como día cero (**Figura 6**). En el caso del segundo ciclo se consideró como día cero al día en el que se realizó la primera cosecha del cultivo. A partir de ese momento, se contabilizaron los días hasta la segunda formación de primordios. Los primordios se dieron a notar cuando aparecieron pequeñas colonias en forma botones muy pequeños de aproximadamente 2 – 3 mm.

Es importante mencionar que en un inicio aparecieron muchas colonias con primordios, pero no todas llegaron a la madurez de cosecha. Estas colonias que no crecieron se las conoce como abortos.

Figura 6

Primeros brotes de formación de primordios en forma de dedos de aproximadamente 2 – 3 milímetros



3.4.3. Días a la cosecha

Se tomó en cuenta como día uno cuando se presentó la primera visualización de los primordios y como día de cosecha cuando la mayoría de las colonias presentaron cuerpos fructíferos con los bordes del carpóforo casi planos, el cual es un parámetro que se considera para determinar que han llegado a la madurez de cosecha (**Figura 7**). La cosecha se realizó manualmente tomando desde la base de la colonia con ambas manos, haciendo dos movimientos (de arriba hacia abajo) hasta desprender del sustrato.

Por otro lado, cabe mencionar que las cosechas se realizaron antes del primer riego del día para así no afectar la calidad de los hongos y puedan durar más tiempo poscosecha.

Figura 7

Colonia de hongos ostra con el carpóforo bien desarrollado y bordes planos, listas para ser cosechada (Madurez de cosecha). Foto 1 (T1): fructificación 1, foto 2 (T1): fructificación 2.



3.4.4. Número de colonias maduras

Se determinó como colonia madura al racimo de hongos que llegó a la cosecha, por lo tanto, se realizó el conteo manual en las bolsas elegidas de cada unidad experimental antes de ser cosechados (**Figura 8**).

Cabe mencionar que en el sustrato aparecieron varias colonias, pero no todas desarrollaron completamente las cuales se las conocen como abortos.

Figura 8

Colonias maduras, listas para ser cosechadas O y abortos O. Foto: Tratamiento T3, fructificación 1



3.4.5. *Peso de hongos cosechados por sustrato (Rendimiento).*

Una vez que los cuerpos fructíferos alcanzaron la madurez de cosecha, se procedió a extraer cada colonia de la bolsa elegida de cada unidad experimental, y se realizó el pesaje de todas al mismo tiempo a través de una balanza digital (**Figura 9**). De igual forma se procedió a retirar los abortos de cada bolsa ya que estos tienden a podrirse y causar la presencia de plagas o enfermedades en el sustrato. Para determinar el rendimiento se tomó en cuenta el peso cosechado de las dos fructificaciones de cada tratamiento.

Figura 9

Total de hongos cosechados en la fructificación 1 del tratamiento t4b1



3.4.6. *Eficiencia biológica*

Una vez obtenidos los datos de rendimientos de las dos cosechas de cada tratamiento, se procedió a realizar el cálculo de eficiencia biológica siguiendo la fórmula mencionada por Gatián et al. (2006), donde también indican que si la E.B alcanzada sobrepasa el 60% es un sustrato con buenas características para la producción.

$$E. B = \frac{\text{Peso (g) de hongos frescos}}{\text{Peso (g) de sustrato}} \times 100$$

3.4.7. Rentabilidad

Durante todo el proceso de investigación se llevó un registro económico de todos los gastos que se generaron por cada tratamiento, el cual permitió determinar el costo de cada una. Los ingresos fueron determinados en base al rendimiento que se obtuvo por tratamiento y el precio del producto en el mercado. Con estos datos se realizó la relación beneficio costo de cada tratamiento y se determinó cual fue el que tuvo mayor rentabilidad. Más adelante se detalla en la **Tabla 5** el análisis realizado.

3.5. Manejo de experimento

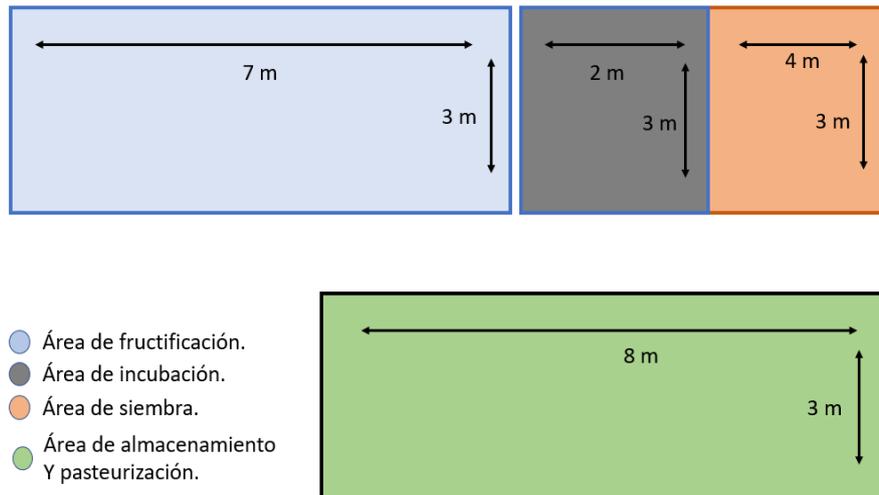
3.5.1. Áreas de producción

Para realizar la investigación se requirieron de cuatro áreas (área de almacenamiento de materias primas y pasteurización, área de siembra, área de incubación y área de fructificación), por tal motivo, se adecuaron cada una de estas acorde a las condiciones ambientales requeridas para cada etapa.

Para el área de almacenamiento de materias primas y pasteurización, se utilizó parte del vivero de la Granja Experimental La Pradera, el cual cumplía con las condiciones de aireación y protección de aguas lluvias. Así mismo, en un solo cuarto grande se acondicionó el área de siembra y el cuarto de incubación. Por un lado, el área de siembra con claridad y mesas de apoyo para manejar las bolsas y por otro lado un pequeño cuarto con total oscuridad, temperaturas de 22 °C a 25 °C, altas concentraciones de CO₂ (850ppm a 900ppm) y HR del 50% al 60%. Cabe mencionar que en estos dos cuartos se sellaron todos los ingresos de aire del exterior ya que debe ser un ambiente extremadamente limpio para evitar contaminaciones en el cultivo y por ende ayudar en la concentración del CO₂ del cuarto oscuro.

Figura 10

Esquema de la distribución de las áreas de producción con sus respectivas medidas.



En otro cuarto junto a estas dos áreas mencionadas, se adecuó el área de fructificación con micronebulizadores que ayudaron a incrementar y mantener la HR del ambiente en un 80% - 90%, además se procedió a retirar las ventanas del cuarto y taparlas con malla polisombra del 60% para que no ingrese mucha luz y por ende haya ingreso de aire al cuarto y reduzca la concentración de CO². Por otro lado, para la temperatura no se realizó ninguna modificación ya que en Chaltura las temperaturas oscilan entre 16 °C y 20 °C las cuales son muy buenas para el desarrollo de los hongos. Es importante mencionar que para lograr la humedad relativa adecuada del ambiente, se realizó evaluaciones previas de los riegos con los micronebulizadores en diferentes horas del día para así poder programar la electroválvula y no tener cambios muy bruscos de a humedad. Los riegos que se dieron fueron a las 8am, 11am, 12pm y 3pm, cada uno de 3 minutos durante todo el periodo de fructificación.

Estas áreas fueron adecuadas en aulas antiguas y áreas en desuso que se encontraron en las instalaciones de la Granja Experimental La Pradera. En la **Figura 10** se detallan las áreas que se usaron para el ensayo.

3.5.2. *Recolección de materias primas*

Las materias primas fueron recolectadas de diferentes procedencias agrícolas, forestales y agroindustriales de la provincia de Imbabura.

- Totora (*Schoenoplectus tatora* Kunth.): Esta materia prima se la obtuvo de la Laguna de Yahuarcocha y el Lago San Pablo. Posee el 30.71% de hemicelulosa, 66.79% de celulosa y el 27.8% de lignina (Mejía, 2000).
- Bagazo de caña (*Saccharum officinarum* L.): Este residuo se lo adquirió de una pequeña panelera artesanal ubicada en la parroquia de Salinas de la provincia de Imbabura. Desde el punto de vista químico, el bagazo de la caña de azúcar está compuesto aproximadamente de 41-44% de celulosa, 25-27% de hemicelulosas, 20-22% de lignina y 8-10% de otros componentes, entre estos las cenizas (Gastón et al., 2000).
- Tamo de avena (*Avena sativa* L.): Este residuo se lo obtuvo comprando por atados a un precio muy bajo en la parroquia La Esperanza. Desde el punto de vista químico, contiene entre 31% y 37% de celulosa, 16% y 19% de lignina, 27% y 30% de hemicelulosa y 6% y 8% de cenizas (Flores, 2006).
- Vainas de arveja (*Pisum sativum* L.): este residuo se lo adquirió de los mercados ubicados en la ciudad de Ibarra, llegando a un acuerdo verbal con varios dueños de los puestos que la venden. Desde el punto de vista químico, este residuo lignocelulósico posee 15.1% de lignina, 44.9% de celulosa y 28.4% de hemicelulosa (Ramos, 2015).

3.5.3. *Semilla*

La semilla es certificada y fue adquirida de la empresa INTIWASI que se encuentra en la provincia de Pichincha; ésta semilla viene empacada bajo óptimas condiciones de esterilidad lista para ser inoculada en cada uno de los sustratos a utilizar. Para la investigación se utilizó el

5% de semilla relacionado al peso húmedo del sustrato (2.5 kg/bolsa), donde se aplicó 125g de semilla por bolsa, siendo 13.5 kg de semilla para las 108 bolsas de sustrato.

3.5.4. Almacenamiento de materias primas

Se almacenaron a temperatura ambiente todos los materiales vegetales que se usaron como medio de cultivo, insumos y herramientas de trabajo. Esta área debía ser con cubierta para evitar la entrada de agua lluvia a los materiales y con mucha aeración por lo que se colocaron en el vivero de La Granja Experimental La Pradera. En esta área se realizó el picado de los materiales vegetales a través de una picadora industrial pequeña hasta lograr un tamaño de partícula entre 2 a 5 cm para un mejor desarrollo micelial del hongo. En el caso del bagazo de caña se tuvo que realizar un lavado de azúcares en donde se sumergió el sustrato colocado en costales de polipropileno de 60 cm x 100 cm durante 24 horas en un tacho de 200 l con agua, al cual se añadió el 3% de cal relacionado al peso húmedo del sustrato. Cabe mencionar que se realizó un cambio de agua más el 3% cal a las 12 horas de sumersión. Posteriormente todos los sustratos fueron colocados en costales de polipropileno de 60 cm x 100 cm previo a la pasteurización, con la finalidad de brindar un fácil manejo al momento de escurrir.

3.5.5. Pasteurización

Para realizar este proceso térmico por sumersión, se requirió de cuatro tanques metálicos de 200 l y cada una con su respectiva hornilla industrial con conexión a un gas. Una vez que los sustratos encostalados se ubicaron dentro de los tanques metálicos, se procedió a llenar de agua hasta que estén cubiertos en su totalidad. Posteriormente se prendieron las hornillas a llama alta y se dejó calentar hasta llegar a los 70 °C y una vez alcanzada dicha temperatura, se mantuvo por cuatro horas donde al finalizar, inmediatamente se procedió al escurrimiento de los sustratos encostalados, los cuales fueron colgados en un travesaño por encima de los tanques de

pasteurización durante 12 horas para luego ser usados para la siembra. En la **Figura 11** se puede observar la adecuación de los quemadores, tanques metálicos y el travesaño donde fueron colocados los sustratos.

Figura 11

Tanques metálicos de 200 litros adaptados para pasteurización de sustratos



3.5.6. Siembra o inoculación

Cinco días antes a la siembra, se procedió a realizar una desinfección total del área con benomyl a una proporción de 200 g/l de agua abarcando paredes, techo, suelo y mesas; para la esterilización del ambiente se utilizó un ozonificador de aire durante toda una noche para eliminar la mayor cantidad de microorganismos que hayan estado presentes como virus, hongos o bacterias y así evitar problemas de contaminación en la fase vegetativa la cual es la fase más crítica del cultivo. Un día antes de realizar la siembra se procedió a limpiar toda el área (paredes, techo, piso y mesas) con desinfectante eucalipt para retirar los residuos de la aplicación anterior con benomyl y asegurar una mayor esterilidad.

Así mismo, el día de la siembra se realizó una buena desinfección de manos, ropa y zapatos con alcohol al 70% antes de ingresar a esta área y proceder a la siembra, además se desinfectaron

todos los instrumentos que se usaron flameando con alcohol al 90%, pasando uno por uno por el mechero provocando que se prendan de fuego y maten todo tipo de microorganismos.

Al finalizar dicho proceso de esterilización, se procedió a llevar los sustratos ya pasteurizados al área de siembra para proceder a realizar las combinaciones planteadas en la investigación con sus respectivas concentraciones de cada materia prima, donde posteriormente se realizó la aplicación de los minerales (cal y yeso) a una concentración del 1.5% de cada uno en relación con el peso húmedo del sustrato siendo 37.5 g de cal y 37.5g de yeso/ bolsa de 2.5 kg. Cabe mencionar que además de ser minerales que suplementan el sustrato, cumplen un papel importante haciendo el bloque (sustrato) no se compacte demasiado evitando que se peguen las partículas de las materias primas.

En el caso de las combinaciones que se prepararon con bagazo de caña y las demás materias primas solo se aplicó el 1.5% de yeso ya que se aplicó la cal, previo a la pasteurización. Es importante mencionar que la cal, además de ser un mineral nos ayudó a regular el pH del sustrato.

Una vez ya embolsado el sustrato, se aplicó el 5% de semilla relacionado al peso húmedo del sustrato; es decir, se aplicó 125g de semilla por bolsa de 2.5kg. Cabe mencionar que la semilla hace referencia al hongo inoculado en un cereal lo cual ayuda a una mejor distribución del micelio en el sustrato y así el hongo pueda colonizar con mayor rapidez y eficiencia; para este caso la semilla vino inoculada en granos de avena, la cual fue preparada en el laboratorio de semillas de la empresa INTIWASI.

Una vez ya aplicada la semilla se procedió a cerrar las bolsas con la ayuda de una liga elástica tratando de sacar la mayor cantidad de aire del sustrato y se realizaron cuatro cortes pequeños (dos en cada lado de la bolsa) con un bisturí previamente desinfectado con la finalidad de que

pueda respirar el hongo y por ende tenga un buen desarrollo; además, cada bolsa se codificó con la simbología del tratamiento y fecha de siembra.

3.5.7. Incubación

Una vez finalizado el proceso de siembra, se llevaron todas las bolsas inoculadas al área de incubación donde pasaron durante toda la fase vegetativa hasta completar la miceliación total del sustrato (14 a 26 días) a una temperatura de 23 °C a 28 °C en total oscuridad y con alta concentración de CO₂ (850ppm a 900ppm).

Para esta fase se adecuó en el mismo cuarto de siembra, un cuarto oscuro forrando todas las paredes y la división del área con plástico negro, sellando todo ingreso de aire del exterior ya que debe estar en su totalidad libre de otros microorganismos que puedan contaminar los sustratos, además se implementaron tres estanterías metálicas estrictamente esterilizadas para colocar las bolsas inoculadas acorde al bloque y al tratamiento que pertenecen.

Para alcanzar las temperaturas planteadas, se utilizó un calentador eléctrico de interiores de hogar en el cual, se realizaron mediciones previas de las temperaturas que se alcanzan en diferentes horas del día (6 am, 10 am, 12 pm, 3 pm y 6 pm) durante una semana, al igual que la humedad relativa. Para estas mediciones se utilizó un higrómetro digital, el cual ayudó a determinar la regulación ideal del calentador para que no baje ni sobrepase las temperaturas planteadas para esta fase. En este caso la humedad relativa del ambiente no fluctuó mucho siendo 55% y 60% de HR.

En esta fase se tuvo mucho cuidado con el tema de monitoreo y manipulación de las bolsas, ya que las unidades experimentales eran muy susceptibles a contaminarse fácilmente con microorganismos patógenos que se encuentren en el exterior del área de incubación y finalizar con su ciclo de vida, por tal motivo antes del ingreso a esta área, se planteó un protocolo de

desinfección muy estricto el cual constó de mantener un aseo personal óptimo y llevar ropa limpia, además de la aplicación de alcohol al 70% en la ropa puesta y zapatos, uso de cubrebocas y cofia. Los monitoreos y toma de datos en esta fase se realizaron cada cuatro días para evitar posibles contaminaciones. Gracias al protocolo y manejo llevado a cabo, no se observó ninguna contaminación en esta fase del cultivo.

3.5.8. Fructificación

Una vez que las bolsas inoculadas finalizaran la fase de incubación completando el 100% de miceliación en el sustrato, se procedió a pasarlas al área de fructificación donde inmediatamente fueron ubicadas en el lugar correspondiente acorde a cada bloque y tratamiento que pertenecen. Seguidamente se realizaron expansiones de 3 a 5 cm de los orificios hecho en cada bolsa al momento de la siembra, con la finalidad de que por estas, el hongo sea inducido a fructificar a través del estrés causado por el cambio de las condiciones ambientales en el área de fructificación que constan del 80 al 90% de humedad relativa, aireación, luz difusa (100 a 200 lux) y por ende una reducción de CO₂ (400 ppm - 500ppm). En esta fase, las bolsas miceliadas acabaron su fase de producción al llegar a su segunda cosecha.

Previo al uso de este módulo, se realizó una desinfección total del cuarto con benomyl a una concentración de 200 g/l de agua; por otro lado, se posicionó una entrada de luz difusa al cuarto y se abrieron bordes del techo para el ingreso de aire, los cuales son parámetros muy importantes para un buen desarrollo de los hongos. Además, se instaló un sistema de riego por micronebulización con electroválvula comandado por un timer en el cual se programó cinco riegos en el día durante tres minutos cada uno para alcanzar los rangos planteados de humedad. De igual forma, para cumplir con estas condiciones, se realizaron estudios previos durante una semana, donde se dieron diferentes riegos en el día y con diferentes tiempos para poder programar el timer en las horas adecuadas del día y mantener la humedad adecuada (80% al

90%). Estos riegos fueron programados para activarse a las 8:30am, 10:30 am, 12pm, 2pm y 4pm.

Por otro lado, la temperatura fue de 17 a 20 °C dentro del cuarto por lo cual no se tuvo que realizar ningún proceso o adecuación para cumplir con este parámetro.

3.5.9. Cosecha

Este proceso se realizó de forma manual a las colonias que llegaron a su madurez de cosecha, por lo tanto, de acuerdo con los parámetros establecidos, se procedió a extraer las colonias maduras del sustrato una vez que hayan alcanzado su máximo tamaño, considerando que los bordes del carpóforo se encuentren planos o totalmente abiertos. Para realizar la extracción de la colonia, se tomó con ambas manos desde la base de esta, al ras de la bolsa haciendo dos movimientos (de arriba hacia abajo). Una vez finalizada la cosecha y de haber tomado los datos del peso de cada una, se procedió a cortar los cuerpos fructíferos de cada colonia para ser llevados a refrigeración donde pasaron por 9 horas a 5 °C, con la finalidad de disminuir su tasa de respiración y cortar su maduración acelerada, el cual nos ayudó a tener una mayor duración poscosecha de los hongos.

Para finalizar, después de cada cosecha se realizó una línea en el sustrato con un marcador permanente para saber el número de cosechas que tiene cada bolsa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en base a la investigación realizada, analizando e interpretando cada una de las variables estudiadas en cada tratamiento, siguiendo el orden de los objetivos planteados.

4.1. Tiempo de corrida del micelio (T.C.M)

Los datos obtenidos del análisis de varianza (ADEVA) muestran que existe diferencia estadística significativa ($P= 0.0369$) entre tratamientos (**Tabla 5**), en donde la corrida del micelio en cada uno de los sustratos finalizó correctamente en diferentes tiempos. Todos los tratamientos, a excepción de los tratamientos T13 (TaV 3070) y T18 (Vaba 7030), alcanzaron la miceliación total dentro del rango adecuado para la producción de hongos comestibles, tal y como se menciona en el siguiente párrafo, obteniendo medias que van desde los 16.33 (± 1.20) días a los 21(± 1.00) días; mientras que los tratamientos menos eficientes (T13 y T18), en esta fase vegetativa del hongo, obtuvieron medias de 24.33 (± 4.91) y 26 (± 0.00) días, respectivamente (**Figura 12**), siendo sustratos poco adecuados para disminuir el tiempo en la corrida del micelio.

Tabla

5

*Análisis de varianza para la variable tiempo de corrida del micelio (T.C.M) del hongo *Pleurotus ostreatus* Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones*

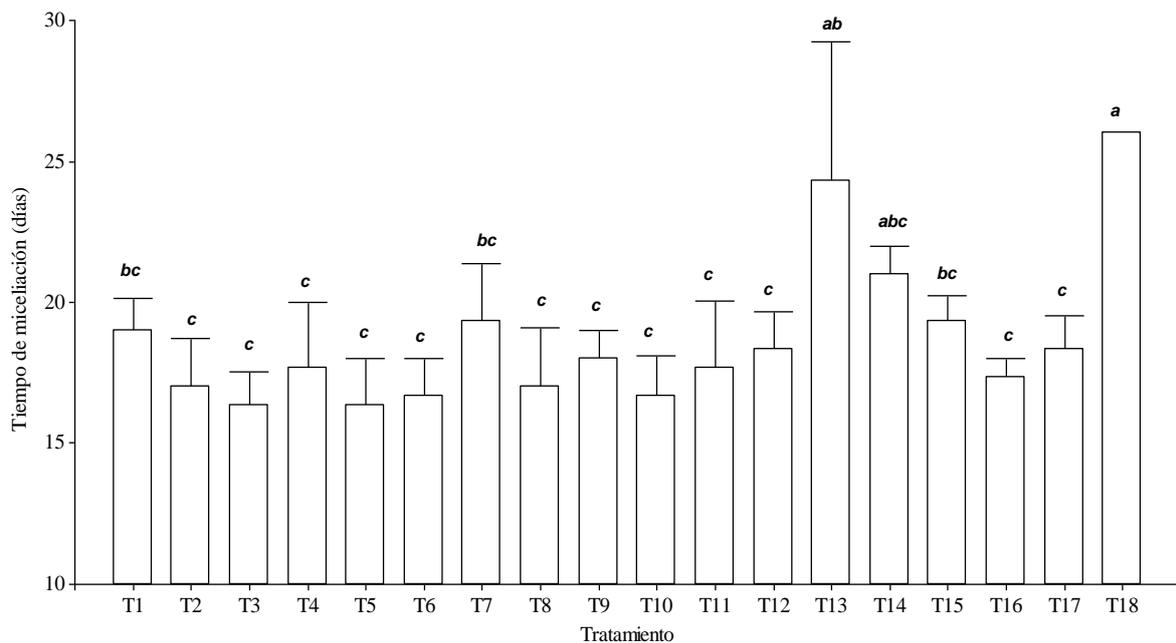
	numDF	F - value	P - value
(Intercept)	1 34	1805.11	<0.0001
<u>Tratamiento</u>	<u>17 34</u>	<u>2.05</u>	<u>0.0369</u>

Esta variable hace referencia al tiempo que tarda el hongo en colonizar el 100% del sustrato, haciéndose notar con una coloración blanquecina en forma de telaraña sobre la materia prima, compactando el bloque uniformemente (Figura 5); ésta cobertura se vio en todas las bolsas inoculadas de cada tratamiento desde el primer monitoreo que fue al cuarto día después de la siembra, bajo las mismas condiciones de temperatura (20 °C – 25 °C), humedad relativa (65% - 70%) y plena oscuridad tal y como lo menciona Kim y Kwon (2005), que las condiciones óptimas para el desarrollo micelial de los hongos ostra son las antes mencionadas. Así mismo indica que bajo estos parámetros ambientales, se alcanza la colonización total en el sustrato en un lapso de 12 a 25 días después de la inoculación dependiendo del tamaño de la bolsa y del sustrato aplicado. Por otro lado, como dato importante, Kong (2005) menciona que la temperatura del cuarto de incubación debe ser 3 – 5 °C inferior al óptimo normal (25 °C), debido al calor que se produce durante la respiración y desarrollo del micelio. Siguiendo este parámetro, no se tuvo complicaciones en la fase vegetativa (incubación) lo cual lo hace muy eficiente para evitar que la temperatura del cuarto oscuro no sobrepase los 30 °C y se generen problemas de contaminación.

Figura

12

Comportamiento del tiempo de corrida del micelio (T.C.M) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones



De acuerdo con la gráfica, podríamos decir que al usar concentraciones superiores al 50% de vainas de arveja retarda el T.C.M. Esto pudo ser provocado debido a que las vainas de arveja no tienen la capacidad de retener por mucho tiempo el agua suministrada como los demás residuos vegetales utilizados ya que, al pasar el tiempo se observó que los tratamientos que tenían este residuo agrícola, empezaron a secarse en la parte media y se acumularon de agua en la parte inferior de la bolsa, provocando así que el micelio no avance con normalidad en esa parte del sustrato, retardando significativamente el desarrollo micelial, así como lo menciona Kang (2005), que el sustrato debe poseer del 65% al 70% de humedad para un buen desarrollo micelial; así mismo, comparando con una investigación realizada en Colombia en la cual aplicaron las cáscaras de arveja al 100% como sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* Jacq., obtuvieron un T.C.M de 23 días (Rodríguez et al., 2008), siendo resultados muy semejantes al de la presente investigación. Por otro lado, se observa que al utilizar el tamo de avena en proporciones mayores al 50% también retrasa el T.C.M. en algunas combinaciones.

Además de las condiciones de temperatura, humedad relativa, luz y CO₂, un parámetro importante es la relación carbono nitrógeno que posee el sustrato tal y como lo menciona

(Poppe, 2000), donde indica que la relación C/N debe ser muy alta en rangos de 32 a 600 para obtener un buen desarrollo de todos los estadios del hongo (fase vegetativa y fase reproductiva); es decir, se requiere mayor contenido de fuentes carbonadas que fuentes nitrogenadas por tal motivo podríamos decir que las materias primas utilizadas en esta investigación presentan relaciones C/N adecuadas para esta producción ya que todos los tratamientos a excepción de T13 y T18 estuvieron dentro de los rangos con respecto al T.C.M.

Por otro lado, con respecto a los tratamientos que contienen bagazo de caña (B.C) o totora (T) fueron los que menor T.C.M. alcanzaron a excepción de las combinaciones con vainas de arveja. Esto pudo darse debido al tamaño de sus partículas y porosidad de estas materias primas, las cuales pudieron haber mejoraron la aireación y una mejor distribución de la semilla en el sustrato tal y como lo menciona Zang et al. (2002), que el tamaño de partícula influye en el intercambio de aire entre el interior del bloque de sustrato con el exterior. En el estudio realizado por estos autores, observaron que en los bloques de sustrato muy compactados no hubo buen intercambio de aire lo cual incremento las concentraciones de CO₂ haciendo que sea más largo el T.C.M. Asimismo, Kwon (2005) indica que los sustratos como pajas de cereales y rastrojos, se pican en trozos de 2.5 a 5 cm de longitud, con la finalidad de aumentar la superficie de contacto, mejorar la estructura física del sustrato el cual ayuda en la oxigenación, mejorar la acción enzimática del hongo, y facilitar la invasión micelial en el sustrato.

Con respecto al bagazo de caña, se podría decir que influyó positivamente para el desarrollo micelial en la mayoría de tratamientos que la contenían, mejorando las condiciones químicas del sustrato debido a su contenido de azúcares , así como lo indica Fernandez (2004), que al preparar el sustrato es necesario suplementar con sacarosa en pequeñas concentraciones como fuente de carbono simple, con la finalidad de que el hongo pueda iniciar su crecimiento micelial y adaptar sus enzimas a las fuentes de carbono complejas (lignina, celulosa y hemicelulosa) y

así se pueda reducir el T.C.M, puesto que el hongo utiliza las fuentes de carbono disponible en el sustrato para el crecimiento micelial y el nitrógeno para formar los cuerpos fructíferos (Muñoz, 2020).

En comparación con otras investigaciones, en las que aplicaron bagazo de caña al 100% con el 5% de semilla / peso húmedo del sustrato (P.H.S), el T.C.M fue de 36 días, mientras que en mezclas de 50% bagazo de caña, 25% café y 25% aserrín con el 5% de semilla / (P.H.S), el T.C.M fue de 26 días (Garzón y Cuervo, 2008), lo que nos indica que el B.C en mezclas con otros residuos lignocelulósicos podría mejorar significativamente el sustrato, creando condiciones muy favorables para el desarrollo del micelio tal y como sucedió en la presente investigación donde de igual forma se utilizó el 5% de semilla / (P.H.S).

4.2. Días a la formación de primordios (D.F.P)

Con respecto a esta variable, se contabilizaron los días que demoró cada tratamiento en formar los primordios desde el día que salieron a fructificación, en donde, de acuerdo con el ADEVA, indica que existe diferencia estadística significativa ($P= 0.0001$) entre tratamientos (**Tabla 6**), siendo el T18 (VABA 70 – 30) el más acelerado en presentar las primeras formaciones de la primera fructificación, las cuales aparecieron apenas finalizaron la fase vegetativa (miceliación), es decir, en el día cero (**Figura 13**). De manera más específica, las bolsas del T18 formaron sus primordios en el cuarto de incubación y si regresamos a la variable del T.C.M, este tratamiento fue el que más demoró en completar el 100% de miceliación en el sustrato. Por otro lado, se observó que en la segunda fructificación, este tratamiento formó sus primordios a los 12 días, el cual fue de los tiempos más largos entre los demás tratamientos.

Tabla

6

Análisis de varianza para la variable días a la formación de primordios (D.F.P) del hongo

Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones

	numDF	F - value	P - value	
(Intercept)	1	70	1361.19	<0.0001
Fructificación	1	70	38.77	<0.0001
Tratamiento	17	70	1.87	0.0361
Fructificación: Tratamiento	17	70	3.69	0.0001

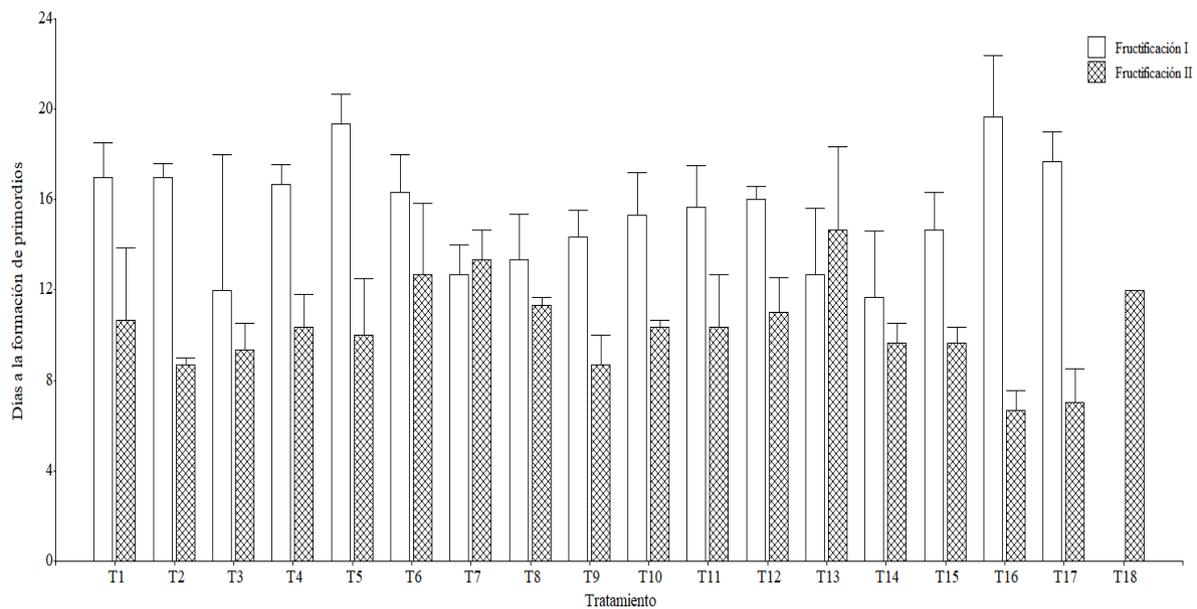
Asimismo, se puede observar que en la primera fructificación el tratamiento T7 no muestra diferencia estadística significativa con los tratamientos T8, T9, T10, T11, T13, T14 y T15, mientras que con los tratamientos T1, T2, T4, T5, T6, T16 y T17 tiene una diferencia de 5 a 7 días en formar los primordios.

Por otro lado, en la segunda fructificación se puede observar que el tratamiento T16 no muestra diferencia estadística significativa con los tratamientos T1, T5, T9 y T17 con medias que van desde 6.67 a 10.67, mientras que con los demás tratamientos muestra una diferencia de 3 a 7 días en formar los primordios.

Figura

13

Comportamiento de los días a la formación de primordios de las dos fructificaciones del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones



Asimismo, se puede observar que hubo diferencia entre fructificaciones donde en la segunda fructificación se formaron los primordios en un tiempo menor que la primera fructificación, en la cual los primordios aparecieron desde los 7 días después de la primera fructificación, mientras que los primordios del primer ciclo de producción de hongos del cultivo aparecieron desde los 12 días después de haber finalizado la fase de incubación.

En comparación con otras investigaciones Garzón y Cuervo (2008), indican que se demoró 39 días en formar los primeros primordios con sustrato de bagazo de caña al 100%, mientras que en mezcla de 50% bagazo de caña, 25% café y 25% aserrín con el 5% de semilla relacionado al peso húmedo del sustrato, los D.F.P fueron de 34 días. Esto nos indica que todos los tratamientos utilizados en la presente investigación tienen rangos aceptables para una producción, además indica en la segunda fructificación los primordios aparecieron a los 47 – 49 días después de la primera cosecha.

Por otro lado, en otra investigación Kang (2005) menciona que el cultivo de los hongos ostra en materiales leñosos toma un periodo largo (20 a 30 días) para la obtención de una fructificación y con bajos rendimientos. Así mismo, Curvetto et al., (2005) mencionan que la

formación de primordios en la primera fructificación ocurrió entre los 15 – 20 días después de la incubación, mientras que la segunda oleada se dio entre los 10 – 15 días después de la primera.

4.3. Días a la cosecha (D.C)

De acuerdo con el análisis del ADEVA, no se encontró diferencia estadística significativa entre tratamientos (P= 0.4309) (**Tabla 7**).

Tabla

7

Análisis de varianza para la variable madurez de cosecha (D.C) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones

	numDF	F - value	P - value	
(Intercept)	1	70	5835.96	<0.0001
Fructificación	1	70	30.06	<0.0001
Tratamiento	17	70	1.40	0.1610
Fructificación: Tratamiento	17	70	1.04	0.4309

Se puede observar que, en la primera fructificación, las colonias viables llegaron a su madurez de cosecha (M.C) entre los 6 a 7 días desde la primera aparición de los primordios en todos los tratamientos con una media de 6.69 (\pm 0.10) días, mientras que en la segunda fructificación alcanzaron su M.C. entre los 5 y 6 días con una media de 5.89 (\pm 0.11) días (**Figura 14**).

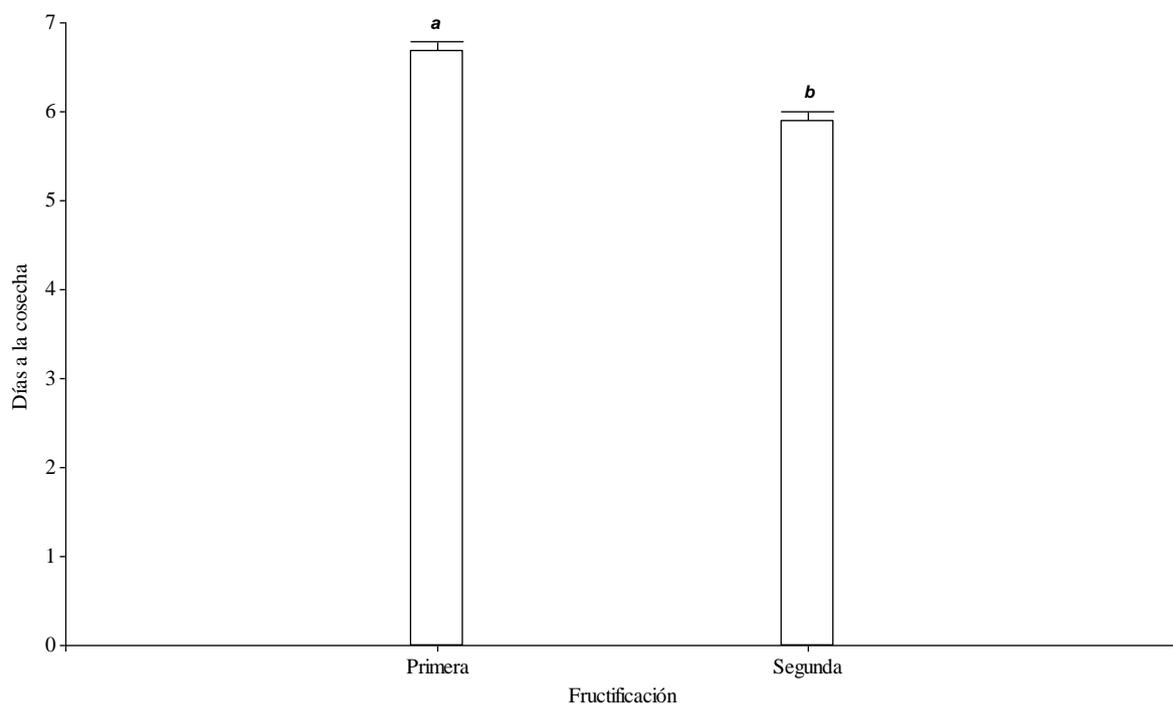
En este sentido, Kim y Kwon (2005) mencionan que los primordios llegan a su madurez de cosecha en un rango que va desde los 5 a 7 días, en base al sustrato utilizado y las condiciones ambientales que se brinden en el módulo de fructificación. En base a este dato podríamos decir

que todos los tratamientos utilizados en la presente investigación están dentro de los rangos adecuados para una producción de hongos comestibles. Esto pudo darse debido a que los hongos formados en la primera fructificación fueron mucho más abundantes y grandes que las que se formaron en la segunda fructificación, en la cual el hongo requirió de más tiempo para formarlos totalmente.

Figura

14

Comparación de los días a la cosecha en cada fructificación del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones



Por otro lado, en una producción a mediana o gran escala, conocer este dato es muy significativo debido a que se puede proyectar a obtener una cierta cantidad de setas frescas, en un tiempo determinado y así poder programar con mayor eficiencia la comercialización.

En otras investigaciones realizadas en la cual se utilizó hiervas de Juncao (*Pennisetum purpureum* S.) Curvetto et al. (2005) indican que se necesita aproximadamente entre 6 a 7 días para alcanzar la madurez de cosecha de los cuerpos fructíferos, coincidiendo con los resultados obtenidos en la primera fructificación de la presente investigación.

4.4. Número de colonias maduras (N.C.M)

Para esta variable se tomaron en cuenta las colonias que llegaron a su madurez de cosecha, ya que cuando el hongo encuentra las condiciones adecuadas induce a formar los primordios, y por lo general se forman algunas colonias inicialmente, pero pocas llegan a desarrollarse por completo. De acuerdo con el análisis de varianza, no hubo diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P= 0.5153$) aunque, como se puede observar en la **Figura 15** en la primera fructificación todos los tratamientos formaron entre 3 a 4 colonias con una media de 3.22 (± 0.21), mientras que en la segunda fructificación se formaron entre 2 a 3 colonias con una media de 2.24 (± 0.09).

Tabla

8

Análisis de varianza para la variable número de colonias maduras (N.C.M) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones

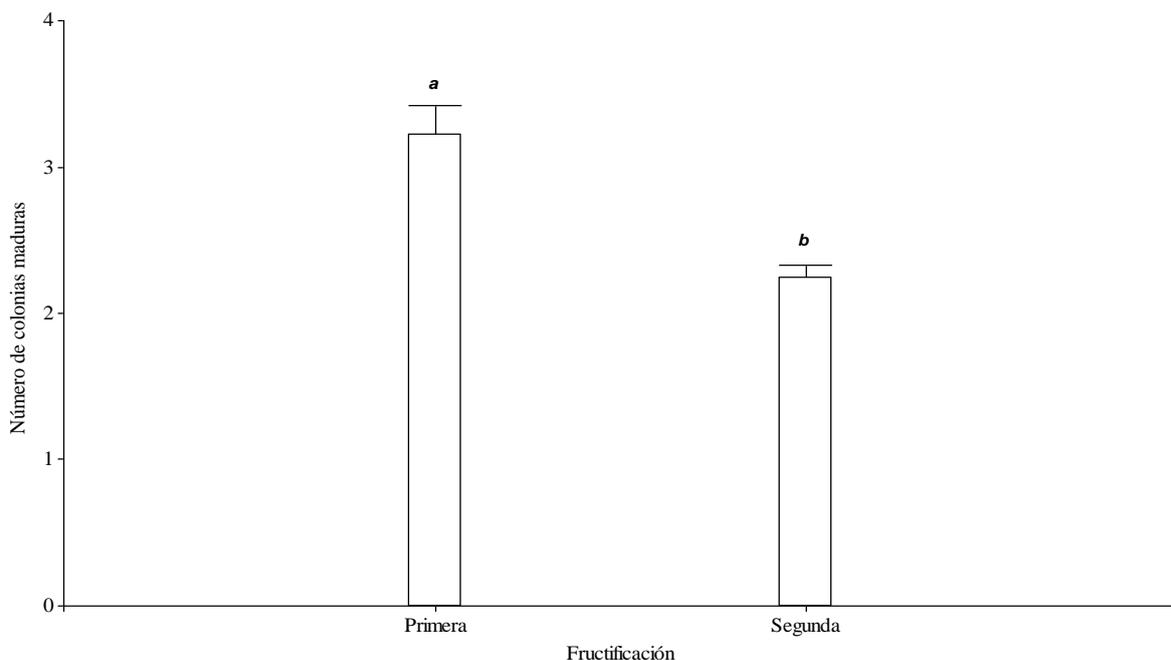
	numDF	F - value	P - value
(Intercept)	1	70	<0.0001
Fructificación	1	70	<0.0001
Tratamiento	17	70	0.2748
Fructificación: Tratamiento	17	70	0.5153

En una entrevista personal con el biólogo Andrés Salazar (2020) propietario de la empresa INTIWASI “Hongos comestibles y medicinales” menciona que, el productor es quien decide cuantas colonias las deja llegar a su madurez de cosecha, ya que depende de las exigencias del mercado. Es decir, mientras más colonias dejamos madurar, menor será el tamaño de las setas y viceversa; así mismo, Oh et al. (2003), mencionan que los cuerpos fructíferos solamente crecen en las perforaciones de la bolsa, siendo setas de mejor calidad, con mejor color, tallos más largos y sombreros más grandes que las que se dan en producciones donde descubren totalmente el sustrato en la fase de fructificación; así mismo menciona que ésta metodología de producción sin cobertura del sustrato es ineficiente debido a que existe mucho aborto de primordios y la tasa de contaminación es muy alta.

Figura

15

Número de colonias maduras en ambas fructificaciones del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totorá, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.



4.5. Peso de hongos cosechados por sustrato (Rendimiento) y eficiencia biológica (E.B.)

Para obtener el dato de rendimiento de cada tratamiento, se consideró el peso de hongos cosechados en las dos fructificaciones donde se pudo observar como esta variable fue fluctuando en base al sustrato. Por otro lado, la eficiencia biológica hace referencia al peso de hongos frescos obtenidos de cada sustrato en base a la materia seca aplicada en cada tratamiento. Por lo tanto se utilizó el dato del rendimiento y el peso seco del sustrato aplicado. El ADEVA muestra que hubo diferencia estadística significativa entre tratamientos ($P= 0.0131$) para el rendimiento y ($P= 0.0027$) para la eficiencia biológica.

Tabla 9

Análisis de varianza para la variable de rendimiento del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totorá, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones

	numDF		F - value	P - value
(Intercept)	1	34	950.30	<0.0001
Tratamiento	17	34	2.44	0.0131

Tabla 10

Análisis de varianza para la variable eficiencia biológica (E.B) del hongo Pleurotus ostreatus Jacq. sobre los diferentes sustratos (Totorá, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones

	numDF		F - value	P - value
(Intercept)	1	34	928.89	<0.0001
Tratamiento	17	34	3.05	0.0027

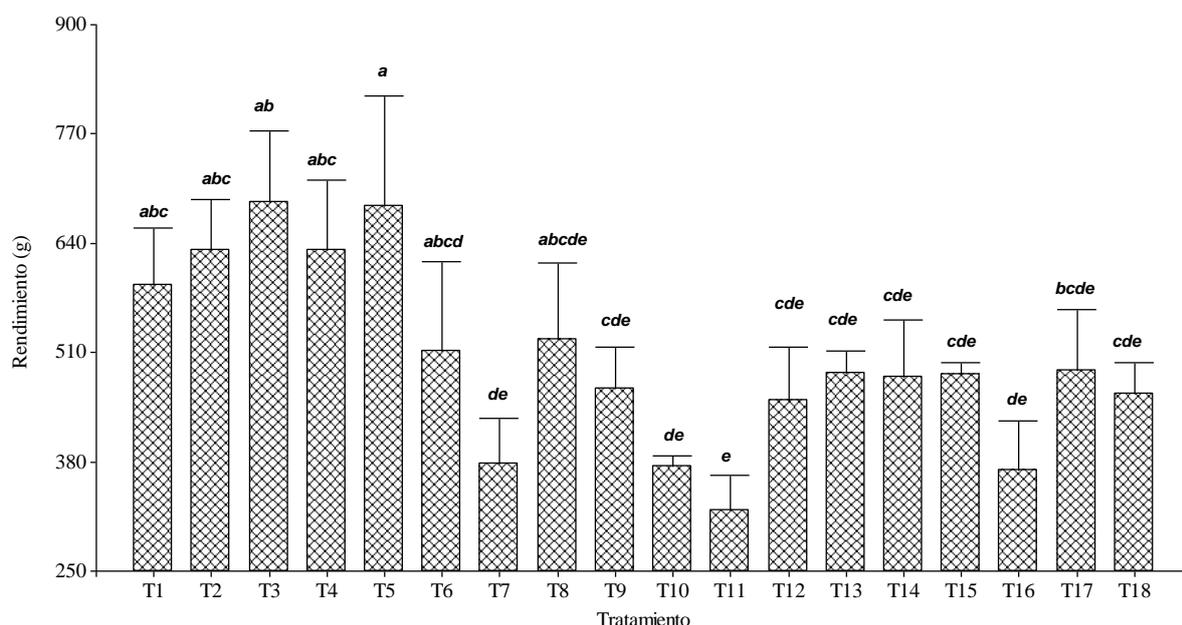
De acuerdo a la **Figura 16**, podemos ver como fue el rendimiento de cada uno de los tratamientos analizados, en donde el T7, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17 y T18 fueron los que menor rendimiento tuvieron en las dos cosechas, obteniendo medias de 378.33 g, 467g, 375 g, 322 g, 453.33 g, 485.33 g, 481 g, 484 g, 370.33 g, 489 g, y 461.67 g respectivamente, mientras que los mejores tratamientos fueron el T1, T2, T3, T4 y T5, obteniendo medias de 589.67 g, 631.67 g, 689.67 g, 632 g, 684 g, respectivamente.

Así mismo podemos observar que los tratamientos T6 y T8 obtuvieron rendimientos intermedios con medias de 512 g y 525 g respectivamente.

Figura

16

*Peso de setas frescas cosechados por tratamiento del hongo *Pleurotus ostreatus* Jacq. sobre los diferentes residuos (Tatora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.*



Por otro lado, con respecto a la E.B. se observa que los mejores resultados obtuvieron los tratamientos T1, T2, T3, T4, y T5 con medias de 90%, 96.29%, 105.01%, 95.44% y 103.48% respectivamente, las cuales son las mismas que alcanzaron los rendimientos más altos, mientras que los tratamientos T7, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17 y T18 con medias de 50.66%, 67.08%, 56.73%, 48.86%, 69%, 65.09%, 66.85%, 69.81%, 52.88%, 67.50% y 61.66% respectivamente, son los que menor E.B. alcanzaron y de igual forma son los que menor rendimiento obtuvieron (**Figura 17**).

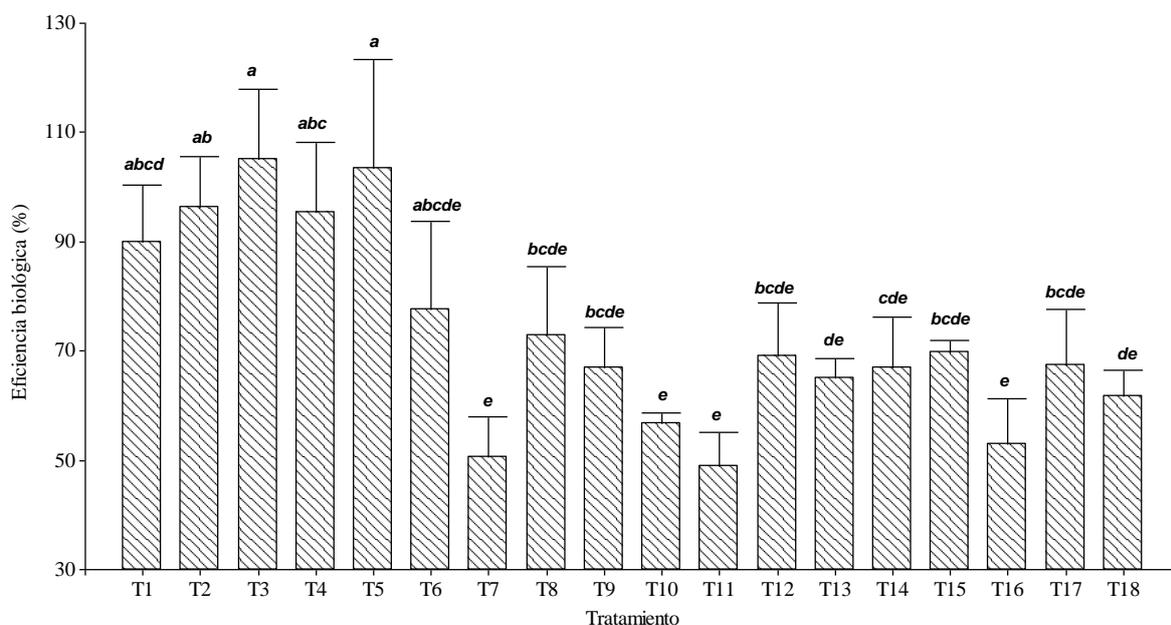
Asimismo, se observa que los tratamientos T6 y T8 obtuvieron resultados intermedios con medias de 77.60% y 72.86% respectivamente, coincidiendo con los resultados de rendimientos que fueron intermedios en la investigación.

Figura

17

*Eficiencia biológica alcanzada del hongo *Pleurotus ostreatus* Jacq. sobre los diferentes*

sustratos (Tatora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.



En base a estos resultados de rendimiento y E.B. se podría decir que las combinaciones de totora con tamo de avena (T1, T2, T3) y totora con bagazo de caña (T4, T5) son sustratos adecuados para ser utilizados en una producción de hongos ostra (*Pleurotus ostreatus* Jacq.) ya que alcanzaron rangos bastantes altos comparados con otras investigaciones.

Rodriguez et al. (2008), indican que alcanzaron un rendimiento de 58.2 g con el 100% de bagazo de caña (B.C) y 275.3 g en mezcla de 50% B.C, 25% café y 25% aserrín, ambas con el 5% de semilla al igual que en la presente investigación. Asimismo, mencionan que estos tratamientos fueron los que mayor E.B alcanzaron obteniendo 40% y 48% con los tratamientos que contenían la combinación de B.C 50% + café 25% y B.C 50% + café 50% respectivamente.

Por otro lado, en otra investigación Kneebone y Mason (1972) indican que al aplicar 100% B.C alcanzaron una E.B del 15% lo cual es sumamente bajo; asimismo Delmas (1989), menciona

que aplicando 100% paja de avena alcanzó una E.B del 96%, siendo un resultado bastante bueno para una producción de hongos ostra.

Tomando en cuenta los resultados de estas investigaciones mencionadas, podríamos decir que la totora en combinaciones con otros residuos es muy eficiente. Esto pudo darse, debido a la estructura física de la totora, el cual presenta un aerénquima muy bien desarrollado (Silva, 2015), lo cual pudo influir en mejorar la estructura física del sustrato, brindando condiciones óptimas para el desarrollo fenológico del hongo, haciendo que el bloque no sea tan compacto y haya mayor aireación, tal y como lo menciona Silva et al. (2010), que el hongo requiere de un sustrato con espacios porosos que permitan el intercambio de gases, tanto en CO₂ como de oxígeno para obtener un buen desarrollo y a la vez evitar la aparición de otros microorganismos que viven sin la necesidad de de oxígeno; así mismo cabe mencionar que de los 4 residuos lignocelulósicos, la totora posee un mayor porcentaje de fuentes carbonas (30.71% de hemicelulosa, 66.79% de celulosa y el 27.8% de lignina) (Mejía, 2000), el cual son las principales fuentes nutricionales para el hongo (Kang, 2005). Estas características químicas y físicas también pudieron influir en el buen desarrollo micial que lograron los tratamientos que la contenían, ya que la mayoría de estos fueron los que menor tiempo duraron en incubación.

Sánchez et al. (2006) mencionan que para una producción de hongos comestibles, la calidad productiva del sustrato es aceptable cuando se alcanza E.B del 50%. Siguiendo este dato, podríamos decir que todos los tratamientos realizados en la presente investigación a excepción del T11, son aceptables para ser utilizados en una producción.

4.6. Rentabilidad

Con respecto a esta variable, se realizó un análisis de la relación beneficio/costo de cada tratamiento, donde se determinó cual es el más rentable para la producción de hongos ostra.

Cabe mencionar que, para este análisis, no se tomó en cuenta los gastos realizados para la infraestructura y acondicionamiento de las áreas usadas en el ensayo como el sistema de riego, plásticos para el área de incubación y fructificación, calentadora, balanza digital, tanques de pasteurización, quemadores industriales, tanques de gas, entre otros.

Cabe mencionar que todas las materias primas utilizadas se las adquirió gratuitamente ya que son residuos provenientes de diferentes explotaciones agrícolas, agroindustriales y forestales, por tal motivo se consideró como gasto de sustrato el costo que salió de la movilización de estas materias hasta el área experimental.

En términos de valores, que se exponen en la **Tabla 11**, se aplica la premisa general si la relación B/C es mayor a 1 puede considerarse que el proyecto es financieramente rentable; mientras que, si el valor es igual a 1 o menor, existe la posibilidad de que se requieran cambios en algún proceso del proyecto para que se obtengan los resultados esperados.

Tabla 11

Análisis de la relación beneficio/costo de cada tratamiento sobre los diferentes sustratos (Totorá, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones

Tratamiento	Peso	Precio al Público/kg	Precio de Venta	Costos de Producción	Beneficio /Costo
1. Totorá + tamo de avena	0.59	20.00	11.79	3.42	3.45
2. Totorá + tamo de avena	0.63	20.00	12.63	3.29	3.84
3. Totorá + tamo de avena	0.69	20.00	13.79	3.23	4.27
4. Totorá + bagazo de caña	0.63	20.00	12.64	3.09	4.09
5. Totorá + bagazo de caña	0.68	20.00	13.68	3.05	4.49

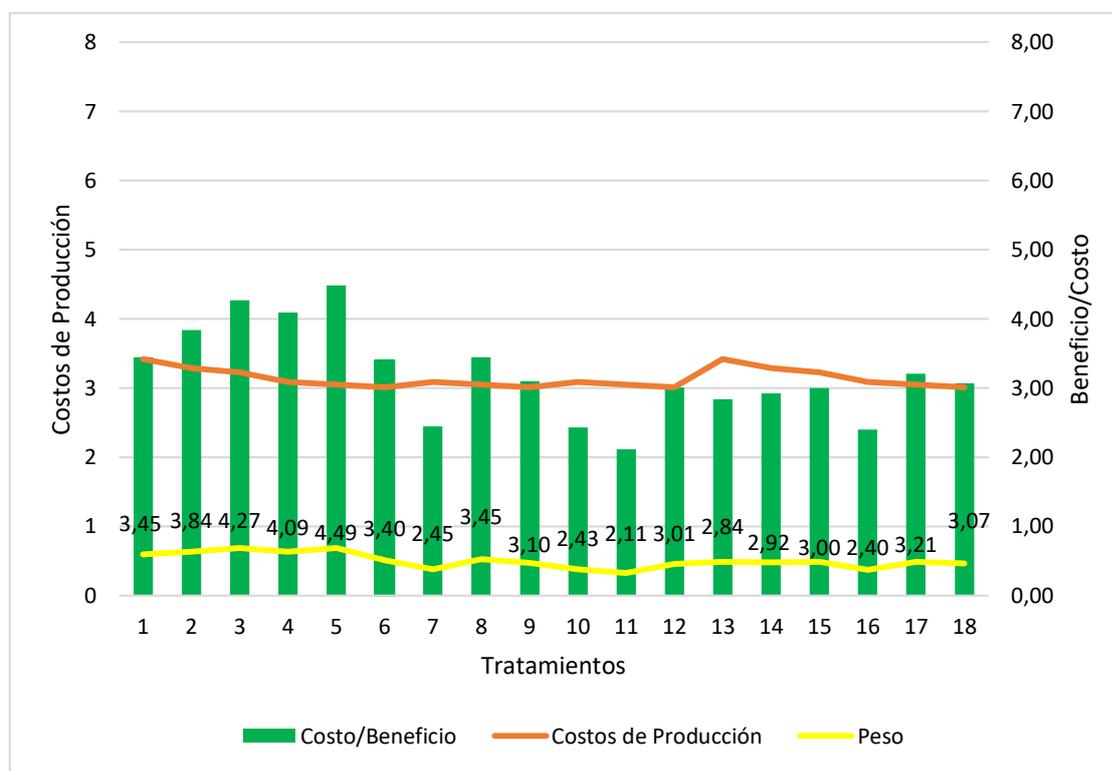
6. Totora + bagazo de caña	0.51	20.00	10.24	3.01	3.40
7. Totora + vainas de arveja	0.38	20.00	7.57	3.09	2.45
8. Totora + vainas de arveja	0.53	20.00	10.51	3.05	3.45
9. Totora + vainas de arveja	0.47	20.00	9.34	3.01	3.10
10. Tamo de avena + bagazo de caña	0.38	20.00	7.50	3.09	2.43
11. Tamo de avena + bagazo de caña	0.32	20.00	6.44	3.05	2.11
12. Tamo de avena + bagazo de caña	0.45	20.00	9.06	3.01	3.01
13. Tamo de avena + vainas de arveja	0.49	20.00	9.70	3.42	2.84
14. Tamo de avena + vainas de arveja	0.48	20.00	9.62	3.29	2.92
15. Tamo de avena + vainas de arveja	0.48	20.00	9.68	3.23	3.00
16. Vainas de arveja + bagazo de caña	0.37	20.00	7.41	3.09	2.40
17. Vainas de arveja+ bagazo de caña	0.49	20.00	9.78	3.05	3.21
18. Vainas de arveja+ bagazo de caña	0.46	20.00	9.23	3.01	3.07

Figura

18

Gráfico del análisis beneficio - costo de cada tratamiento sobre los diferentes sustratos

(Totora, bagazo de caña, vainas de arveja y tamo de avena) con sus respectivas combinaciones y concentraciones.



Entonces, según lo expuesto se ve de manera general que los 18 tratamientos son rentables, pues los valores arrojados para la relación B/C son mayores a 1; cabe indicar que se tomó el costo de producción como coste de inversión y el precio de venta como los ingresos o beneficios de cada uno (pues se expuso los detalles de los mismos dentro del inicio del apartado de rentabilidad). Ya de manera específica se toma como referente en el **Figura18** el coste de producción y el peso producido, la correlación de ambos muestra que el coste -beneficio está bastante por arriba que el de producción, razón más por la que se indica que existe rentabilidad. De manera global se podría decir que existe y que de los 18 tratamientos más del 50% tienen un alto beneficio y viabilidad.

Existen tratamientos más representativos, se indican primero aquellos con mayor índice de acuerdo a la investigación:

Con rangos de 4-5; T3, T4, T5

Seguido aquellos que representan un índice medio:

Con rangos de 3-4; T1, T2, T6, T8, T9, T12, T17 y T18

Finalmente, los que son una rentabilidad baja:

Con rangos de 2-3; T7, T10, T11, T13, T14 y T16

Así, según lo expuesto los tratamientos con más rentabilidad incluyen totora con avena y bagazo de caña; esto se alinea a lo dicho por Flores (2006) quien en su trabajo aduce que los cereales en este caso la avena son los subproductos con más demanda y con costes de producción y tratamiento bajo, es decir, que la ganancia será mucho más alta al usar este tipo de sustrato puesto que obtenerlo y tratarlo resultará bastante económico. Además, un trabajo realizado en este mismo año sobre la producción del hongo ostra Maccapa (2021) que explica la manera correcta de la producción de este hongo e incluye que la totora mezclada con ambos residuos es bastante eficiente, pero más allá expone los mismos resultados que esta investigación, el tratamiento con totora ha tenido la rentabilidad más alta sin embargo, tiene el costo de producción más alto en comparación a los demás tratamientos, lo que significa que producirlo representará más inversión.

Y respecto al análisis económico, se alinea de la misma forma, el mismo sustrato ha obtenido la mayor relación costo/beneficio por lo que se tiene una ventaja comparativa para ingresar al mercado ofreciendo precios más competitivos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Todos los residuos lignocelulósicos utilizados en la presente investigación concluyeron todas las fases producción sin problemas de contaminación ni anomalías, siendo sustratos que se pueden emplear para el cultivo de hongos ostra.
- En base a los resultados obtenidos, se determinó que todos los tratamientos culminaron el tiempo de corrida del micelio en un rango bastante aceptable [16.33 (\pm 1.20) días a los 21 (\pm 1.00) días], sin embargo, los tratamientos T13 y T18 demoraron más días en completar la miceliación total en el sustrato con medias que van de [24.33 (\pm 4.91) a 26 (\pm 0.00)].
- Con respecto a los días a la formación de primordios hubo diferencias entre tratamientos en la primera y segunda fructificación (de 12 a 19.33 y de 7 a 14.67 días), haciéndose notar una disminución de tiempo en formar los cuerpos fructíferos. Por otro lado, de todos los tratamientos solo los tratamientos T7, T13 y T18 incrementaron los días de formación de primordios.
- Los días a la madurez de cosecha fueron muy semejantes entre todos los tratamientos de la investigación alcanzando un promedio de 6 días en la fructificación 1 y 7 días en la fructificación 2, siendo tiempos muy aceptables en una producción de hongos ostra y a su vez siendo un dato muy importante para poder estimar las cosechas venideras en una producción.
- De forma general, los rendimientos alcanzados por todos los tratamientos en la investigación son bastante aceptables para una producción de hongos ostra a excepción

de lo ocurrido para el T11. Los mejores resultados fueron obtenidos por los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 con medias que van de los 589.67 g a 684 g, siendo los mismos que obtuvieron la mejor eficiencia biológica con porcentajes que van del 90% al 105.01%.

- Siguiendo los resultados obtenidos para la rentabilidad, todos los tratamientos aplicados en la investigación sirven como una alternativa eficiente para la producción del hongo ostra ya que todos estos alcanzaron una relación B/C superior a 1. Sin embargo, los mejores tratamientos fueron los tratamientos T3, T4 y T5, obteniendo resultados superiores a 4, los cuales son óptimos para ser aplicados en una producción comercial.

5.2. Recomendaciones

- Realizar un análisis químico de la totora para determinar la cantidad de metales pesados que posee antes de la inoculación del hongo, después de haber culminado su periodo de producción y determinar la acumulación de estos metales en los cuerpos fructíferos, para así saber si se puede usar la totora de la laguna de Yahuarcocha como sustrato para la producción del hongo ostra.
- Buscar una metodología diferente para utilizar las vainas de arveja como sustrato en el cultivo de hongos, ya que se pudo observar que tiene una baja capacidad de retención de agua el cual provocó que el hongo se demoró más tiempo en invadir el sustrato.
- Plantear otra investigación en la cual se utilicen los mejores resultados de ésta, aplicando fuentes nitrogenadas orgánicas e inorgánicas para realizar una comparación productiva y a la vez determinar la cantidad de proteína que poseen los cuerpos fructíferos de los tratamientos analizados.
- Determinar la relación C/N de los residuos lignocelulósicos a utilizar para así plantear combinaciones más eficientes en base a los requerimientos óptimos del hongo.

Referencias

- Apaza, P. (2003). *La totora en el Contexto Altiplánico*. GTZ Cooperación Alemana al Desarrollo.
- Arce, K., Benavides, M., Acosta, J. y Álvarez D. (2019, del 10 al 13 de septiembre). Los subproductos de arveja para la obtención de abono orgánico tipo bocashi [Congreso]. *2do congreso latinoamericano de ingeniería. Retos en la formación de ingenieros en era digital, Cartagena de Indias, Colombia*.
[file:///C:/Users/Jhoselin%20Tinoco/Documents/Downloads/203-Texto%20-%20resumen%20de%20ponencia-390-1-10-20200626%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Jhoselin%20Tinoco/Documents/Downloads/203-Texto%20-%20resumen%20de%20ponencia-390-1-10-20200626%20(2).pdf)
- Atlas, R. & Bartha, R. (2006). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Adisson Wesley.
- Barbados, J. (2004). *Hongos Comestibles* (Primera ed.). Albatros.
- Boa, E. (2005). Número de especies de hongos silvestres comestibles y medicinales. *FAO, Vol. 5, "Productos forestales no madereros 17"*, 43 - 73.
https://www.researchgate.net/publication/44720490_Los_hongos_silvestres_comestibles_perspectiva_global_de_su_uso_e_importancia_para_la_poblacion
- Bonatti, M., Karnopp, P., Soares, H. & Furlan, S. (2004). Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. *Food Chemistry*, 88, 425- 428.
- Calero, C. (2011). *Seguridad alimentaria en Ecuador desde un enfoque de acceso a alimentos*. Flacso-Sede Ecuador.
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=52065>
- Cha, J. (2005) Manejo de pestes (plagas) y enfermedades. En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos 1* (pp. 187 - 201). MushWorld.

- Chang, S. T. (2004). *Hongos: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. Prensa CRC.
- Cho, S. B. (2005). Que es un hongo?. En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos I* (pp. 1 - 14). MushWorld.
- Corrêa, R. C., Brugnari, T., Bracht, A. & Peralta, R. M. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. *Trends in Food Science & Technology*. 50, 103 - 117.
- Cuervo, J. & Garzón, J. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos. *NOVA* 6, 126 - 140.
<https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/113>
- Curvetto, N., González, R., Figlas, D. & Delmastro, S. (2005). Sustrato "Cáscara de semillas de girasol". En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos I* (pp. 108 - 125). MushWorld.
- De León, M. (2010). Evaluación de semillas de hongo ostra producidas a partir de hifas vegetativas. En M. d. león, *Spawn* (págs. 14 - 50). Zunil.
- Delmas, J. (1989). *Le champignons et leur culture*. Les Maison Rustique.
- Escobedo, R. (2006). *Producción del hongo seta (Pleurotus ostreatus)*. SAGARPA.
- Fernandez, F. (2004). *Guia práctica de producción de setas (Pleurotus spp.)*. Fungitec Asesorias.
- Flores, J. (2006). *Efectos de microorganismos eficaces (EM) sobre la producción de hongo ostra Pleurotus ostreatus a partir de remanentes agrícolas* [Tesis de doctorado, Escuela

de agricultura de la región tropical húmeda (EARTH)] Alianza SIDALC.
[http://www.sidalc.net/cgi-
bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion
=mfn=012038](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=earth.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=012038)

France, A., Cañumir, J. & Cortez, M. (2000). *Producción de Hongos Ostras*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Francisco, J. & Gea, A. (2011). Cultivo de setas *Pleurotus*. *Tecnología Agroalimentaria*. 9, 41 - 48.

García, M. (2007). *Cultivo de setas y trufas*. (5.ª ed.) Mundi-Prensa.

Garzón Gómez, J. P., & Cuervo Andrade, J. L. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. *NOVA*, Vol 6, 131 - 139.

Gastón, C., Bambanaste, R., Correa, J. L., Alfonso, G., & Herryman, M. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azúcar*. 3ra. Ed. ICIDCA.

Gatián, R., Salmones, D., Pérez, R. & Mata, G. (2006). *Manual práctico del cultivo de setas "Aislamiento, siembra y producción"*. Instituto de ecología A.C.

Gómez, R. & Blanco, G. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azúcar*. 3ra. Ed. ICIDCA.

Guarín, J. & Ramírez, A. (2008). *Estudio de factibilidad técnico - financiero de un cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus** [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]
Repositorio Institucional.
[https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7146/tesis79.pdf?sequence
=1&isAllowed=y](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7146/tesis79.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Guevara, A., Bravo, F., Molina, R. & Cadilhac, L. (2016). *Inventario Nacional de gases de efecto invernadero del Ecuador: Serie temporal 1994 - 2012*. Ministerio de agricultura y ganadería (ECUADOR).
<https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/06%20Resumen%20Ejecutivo%20INGEI%20de%20Ecuador.%20Serie%20Temporal%201994-2012.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC. (2011). *Reporte estadístico del sector agropecuario*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf
- Kang, S. (2005). Introducción al hongo ostra. En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos 1* (pp. 53 - 60). MushWorld.
- Kim, B. & Kwon, H. (2005). Cultivo en bolsas. En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos 1* (pp. 150 - 171). MushWorld.
- Kneebone, L., & Mason, E. (1972). Sugarcane bagasse as a bulk ingredient in mushroom compost. *Mushroom Science*, Vol 8, 321 - 330.
- Kong, W. S. (2005). Descripciones de especies de Pleurotus de importancia comercial. En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos 1* (pp. 60 - 69). MushWorld.
- Kwon, H. (2005), Cultivo en botellas. En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos 1* (pp. 181 - 187). MushWorld.
- López, E. (2002). *Generalidades del hongo Ostra. "Orellanas: Deliciosa medicina"*. Visión chamánica http://visionchamanica.com/alimentacion_sana/Orellanas.htm
- Maccapa, B. (2021). *Producción de hongo ostra (Pleurotus ostreatus Jacq. sobre residuos lignocelulósicos en la provincia de Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15621/Maccapa_Pocco_Leyden.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martín, A. (2005). *Introducción a la microbiología del suelo*. AGT editor.

Martínez, D., Sobal, M., Morales, P., Martínez, W., Martínez, M. & Mayett, Y. (2004). *El Shiitake en la alimentación mexicana (1ra ed.)*. CANIEM
<http://www.hongoscomestiblesymedicinales.com/Mexico/COLPOS/A/6.pdf>

Mata, G. (2006). *Manual práctico del cultivo de setas*. Instituto de ecología A. C.

Mejía, E. (2000). Producción de pulpa y papel artesanal de totora. [3er congreso internacional y 2do Encuentro nacional de artesanos] Ibarra, Ecuador.

Mitchell, D., Berovič, M. & Krieger, N. (2006). *Fundamentos del biorreactor de fermentación en estado sólido: Introducción y descripción general*. En: Mitchell DA, Berovič M., Krieger N. (eds) *Biorreactores de fermentación en estado sólido*. Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-31286-2_1

Muñoz, E. (06 de Agosto de 2020). Producción de hongos comestibles en Iberoamérica: Intercambio de experiencias y divulgación. (R. Zárate, Entrevistador)
<https://www.youtube.com/watch?v=40w7nfYuA-A>

Murray, P., Rosenthal, K. & Pfaller, M. (2009). *Microbiología médica*. Elsevier .

Nieto, J. & Chegwin, C. (2010). Influencia del crecimiento de hongos comestibles sobre sus características nutraceuticas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 169 - 178.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/15631/16392>

- Oh, S. J., Park, J. S., Lee, D., & Pyung, S. (2003). Studies on the effect of vinyl mulching on Pleurotus cultivation - Control of mushroom diseases on Pleurotus Ostreatus (II). *Mycobiology* Vol. 31, 50 - 53. https://www.researchgate.net/publication/272428577_Studies_on_the_Effect_of_Vinyl_Mulching_on_Pleurotus_Cultivation_-_Control_of_Mushroom_Diseases_on_Pleurotus_ostreatus_II_-
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). *Ganadería sostenible y cambio climático en América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/americas/perspectivas/ganaderia-sostenible/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *El futuro de la alimentación y la agricultura, tendencias y desafíos*. FAO, 35 - 52. <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
- Pedraza, D. (2003). Seguridad alimentaria familiar. *RESPYN (Revista Salud Pública y Nutrición)*, 4, 1 - 9. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2003/spn032f.pdf>
- Pineda, J. (2016). *Champiñón Ostra: Guía de producción artesanal (1ra Ed.)*. Bionegocios. https://www.researchgate.net/publication/307858229_Champinon_ostra_guia_de_produccion_artesanal_Pleurotus_ostreatus_guide_for_homemade_production
- Poppe, J. (2000). Use of agricultural waste materials in the cultivation of mushrooms. *Proceedings 15th International congress on science and cultivation of edible fungi*. (págs. 3 - 23). Maastricht, Países Bajos. <https://eurekamag.com/research/003/605/003605834.php>.
- Potter, N. (1995). *Ciencia de los alimentos (1ra ed.)*. Acribia S.A.

- Quimio, T. (1990). Technical guidelines for mushroom growing in the tropics. *FAO, 1*, 110 - 155. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF9107803>
- Ramos, I. (2015). Caracterización química de tres residuos lignocelulósicos generados en la región del cantón Alausí. *Revista del Instituto de Investigaciones de la facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas (FIGMMG-UNMSM)*, 20, 80 - 84. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14393>
- Rinker, D & Kang, S. (2005). *Reciclado del sustrato gastado (residual) de hongos ostra*. En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos 1* (pp. 202 - 207). MushWorld.
- Rodriguez, C., Hernandez, R., Suarez, C., & Borrero, M. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *UNIVERSITAS SCIENTIARUM, Vol. 13*, 128 - 134. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/1417>
- Salmones, D. (2005). Cultivo comparativo de *Pleurotus* spp. sobre pulpa de café y paja de trigo: producción de biomasa y biodegradación del sustrato. *Tecnología ambiental* 96, 537-544. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852404002433>
- Salval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería* 16 (2), 14 - 26 . https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf
- Sánchez, J., Orozco, G., Hernandez, D., & Nieto, M. (2007). *Capacidad del género Pleurotus para la degradación del insecticida endosulfán (1ra. ed.)*, ECOSUR. <http://www.biomicel.com/Interes/Tecnologia/37.pdf#page=193>

- Silva, A. (2015). Aerénquima de las plantas acuáticas: Procesos fisiológicos: Aerénquima vs Parénquima. *División de ciencias forestales, Vol. 1, 3 - 5.*
https://www.researchgate.net/profile/Adrian-Silva-Cardoza-2/publication/281999912_Plantas_Acuaticas_Aerenquima_vs_Parenquima/links/5600dfd908aeafc8ac8c7b0a/Plantas-Acuaticas-Aerenquima-vs-Parenquima.pdf
- Silva, R., Fritz, C., Cubillos, J. & Matías, D. (2010). *Manual para la producción de hongos comestibles (Shiitake) (1ra. ed.)*. CONAMA - FPA.
- Song, B. (2005). ¿Que es un hongo? En MushWorld (Ed.), *Manual del cultivador de hongos 1* (pp. 1 - 18). MushWorld.
- Stamets, P. (2002). *An informational treatise on mushroom (3ra ed.)*. MycoMedicinals.
- Stamets, P. (2005). *Growing gourmet and medicinal mushroom. (3a ed.)* Ten Speed Press.
https://library.uniteddiversity.coop/Permaculture/Growing_Gourmet_and_Medicinal_Mushrooms.pdf
- Vedder. (1996). *Cultivo moderno de hongos (2da ed.)*. Grupo Mundi - Presa.
- Zang, R., Xiujin, L. & Fadel, J. (2002). Oyster mushroom cultivation with rice and wheat straw. *Bioresource Technology* 82, 277 - 284.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852401001882>

