



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“EVALUACIÓN DE DOS SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE
Pleurotus ostreatus EN EL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

Autor: SANDOVAL EGAS VIVIANA CAROLINA

Director: Ing. Núñez Pérez Jimmy, MSc.

Ibarra, octubre 2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

“EVALUACIÓN DE DOS SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus* *ostreatus* EN EL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE”

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

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

APROBADO:

Ing. Jimmy Nuñez Pérez MSc.

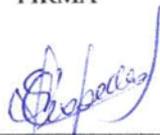
DIRECTOR



FIRMA

Lic. Ima Sánchez MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Nicolás Pinto MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172443474-9
NOMBRES Y APELLIDOS:	Sandoval Egas, Viviana Carolina
DIRECCIÓN:	Ibarra parroquia San Francisco
E-MAIL:	caritosandovale@gmail.com
TELEFONO:	0987094909

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Evaluación de dos sustratos para la producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> en el Ingenio Azucarero del Norte”
AUTOR:	Sandoval Egas, Viviana Carolina
FECHA:	22/07/2022

SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. Jimmy Núñez Pérez, MSc.

2. 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 el 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 octubre del 2022



Sandoval Egas Viviana Carolina

CC: 172443474-9

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios y al Universo por permitirme cumplir una meta más en
mi vida.

Agradezco a la Universidad por abrirme sus puertas, brindarme los conocimientos para
llegar a ser una buena profesional, agradezco a mis profesores, MSc. Ima Sánchez, Jimmy Nuñez
y mi director de tesis Marco Lara, a quien le tengo mucho aprecio, por tener paciencia y saber
guiarme.

Agradezco a la empresa IANCEM por abrirme sus puertas, por la ayuda brindada,
agradezco también a el Ingeniero Raúl Guzmán, Ingeniera Gabriela Mena y al Ingeniero Jaime
Pérez sin ustedes esto no sería posible muchas gracias.

Agradezco a mis padres por ser mis guías en cada etapa de mi vida, a mis hermanos por
apoyarme, mi perrita Valentina por estar cada noche a mi lado desvelándose conmigo y
acompañándome.

Finalmente agradezco a cada persona que estuvo en el transcurso de mi paso por la
universidad yo los llamo ángeles, que en días donde pensaba decaer pudieron darme una mano,
gracias.

Carolina Sandoval.

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y mi perrita Valentina que son todo lo que tengo en la vida los amo mucho. Gracias papis por hacerme la mujer que soy por enseñarme que hay que luchar por nuestros sueños, gracias por darme su amor, los admiro mucho y espero que se sientan orgullosos porque esto es también gracias a ustedes.

Carolina Sandoval

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	3
Objetivo General.	3
Objetivo Específicos.	3
Hipótesis	4
Hipótesis Nula.....	4
Hipótesis Alternativa.....	4
CAPÍTULO II.....	5

MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. La Caña de Azúcar.....	5
2.1.1. Evolución, taxonomía y citología	5
2.1.2. Composición química.	7
2.1.3. Producción de azúcar.	8
2.2. Los Residuos de la Industria Azucarera	9
2.2.1. El bagazo.....	10
2.2.2. La cachaza.	13
2.3. Los Sustratos.....	15
2.4. Los Hongos	17
2.4.1. Generalidades.....	17
2.4.2. Partes de los hongos.....	19
2.4.3. Reproducción de los hongos.	21
2.5. El Hongo Ostra	23
2.5.1. Clasificación y morfología.....	26
2.5.2. Composición nutricional.	27

2.5.3. Cultivo de Sustratos para producir Hongos Ostra.....	28
2.5.4. Cosecha.	30
CAPÍTULO III.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Caracterización del Área de Estudio.....	32
3.1.1. Ubicación del área de estudio.	32
3.2. Materiales, Sustancias y Equipos.....	33
3.2.1. Materia prima.	33
3.2.2. Materiales.....	33
3.2.3. Equipos.....	33
3.2.4. Sustancias y reactivos.	34
3.3. Metodología.....	34
3.3.1. Caracterización físico química de la materia prima: bagazo y cachaza.....	34
3.3.2. Método deductivo.....	39
3.3.3. Tiempo de corrida del micelio del hongo.	40
3.3.4. Determinación del crecimiento del hongo.	40

3.3.5. Productividad del hongo.	41
3.3.6. Método analítico.....	41
3.3.7. Diseño experimental.....	42
3.4. Método de procesamiento.....	45
3.4.1. Obtención del material biológico.....	45
3.4.2. Preparación del sustrato.	45
3.4.3. Inoculación del hongo en el sustrato preparado.....	46
3.4.4. Cosecha del hongo.	47
CAPÍTULO IV.....	48
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	48
4.1. Características fisicoquímicas de la materia prima: bagazo y cachaza	48
4.2. Variables de respuesta evaluadas.....	50
4.2.1. Variable de respuesta: tiempo de corrida del hongo ostra.	50
4.2.2. Variable de respuesta: crecimiento del hongo.	55
4.2.3. Variable de respuesta: Eficiencia biológica.	62
4.2.4. Variable de respuesta: Tasa de productividad.....	68

CAPÍTULO V.....	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1. Conclusiones.....	76
5.2. Recomendaciones	76
CAPÍTULO VI.....	77
BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS	88
Anexo 1. Transformación de imágenes a través del software MATLAB para la determinación de los pixeles blancos.....	88
Anexo 2. Metodología aplicada a nivel de laboratorio y a escala comercial.....	89
Anexo 3. Metodología aplicada a nivel de laboratorio y a escala comercial.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de la caña de azúcar	7
Tabla 2 Subproductos por cada 100 toneladas de caña de azúcar.	10

Tabla 3 Composición química del bagazo de caña de azúcar.....	13
Tabla 4 Composición química de la cachaza de la caña de azúcar.....	15
Tabla 5 Composición nutricional de <i>Pleurotus ostreatus</i> P. Kumm.	28
Tabla 6 Descripción del área de estudio.	32
Tabla 7 Variables evaluadas de la materia prima	35
Tabla 8 Esquema del ADEVA para el Diseño trifactorial completamente al azar	43
Tabla 9 Descripción de los factores y sus niveles en estudio	44
Tabla 10 Descripción y codificación de los tratamientos	44
Tabla 11 Características de las materias primas utilizadas en los sustratos.....	48
Tabla 12 Análisis de varianza del tiempo de corrida del hongo ostra	50
Tabla 13 Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable tiempo de corrida del hongo.....	55
Tabla 14 Análisis de varianza del crecimiento del hongo ostra.....	56
Tabla 15 Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable crecimiento del hongo.....	61
Tabla 16 Análisis de varianza de la eficiencia biológica del hongo ostra	62

Tabla 17 Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable eficiencia biológica	67
Tabla 18 Análisis de varianza de la tasa de productividad del hongo ostra.....	68
Tabla 19 Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable tasa de productividad.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Formación de la glucosa y fructosa.....	8
Figura 2 Residuos de la producción de azúcar de caña: A) Bagazo de caña; B) Caña de azúcar seca y C) Melaza	9
Figura 3 Bagazo de caña de azúcar.....	10
Figura 4 Cachaza de la caña de azúcar	14
Figura 5 Partes del hongo.	20
Figura 8 Reproducción sexual de los hongos.	22
Figura 7 Hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> P. Kumm.	25
Figura 8 Ubicación del Ingenio Azucarero del Norte.....	32
Figura 9 Diagrama de flujo del proceso a escala de laboratorio.....	45

Figura 10 Cosecha del hongo: A) Fructificación; B) Cosecha; y C): Pesaje en fresco del hongo cosechado.....	47
Figura 10 Efecto del tiempo de corrida del hongo ostra en función de los sustratos. ...	51
Figura 11 Efecto de los días a la colonización del hongo ostra en función de la humedad.....	52
Figura 12 Superficie de respuesta correspondiente a los días a la colonización del hongo ostra en función del sustrato y la humedad.....	54
Figura 13 Efecto del crecimiento del hongo ostra en función de los sustratos.....	57
Figura 14 Efecto del crecimiento del hongo ostra en función de la humedad.....	58
Figura 15 Superficie de respuesta correspondiente al crecimiento del hongo ostra en función del sustrato y la humedad.	60
Figura 16 Efecto de la eficiencia biológica del hongo ostra en función de los sustratos.	63
Figura 17 Efecto de la eficiencia biológica del hongo ostra en función de la humedad.	64
Figura 18 Superficie de respuesta correspondiente a la eficiencia biológica del hongo ostra en función del sustrato y la humedad.....	66
Figura 19 Efecto de la tasa de productividad del hongo ostra en función de los sustratos.	69

Figura 20 Efecto de la tasa de productividad del hongo ostra en función de la temperatura. 70

Figura 21 Efecto de la tasa de productividad del hongo ostra en función de la humedad. 71

Figura 22 Superficie de respuesta correspondiente a la tasa de productividad del hongo ostra en función del sustrato y la temperatura. 72

Figura 23 Superficie de respuesta correspondiente a la tasa de productividad del hongo ostra en función del sustrato y la humedad. 74

RESUMEN

La producción del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. en la actualidad se ha convertido en una opción de crecimiento económico de grandes sectores industriales. La presente investigación evaluó dos tipos de sustratos formulados con los residuos que genera la industria azucarera para el crecimiento del hongo de forma particular se seleccionaron muestras de cachaza y bagazo del Ingenio Azucarero del Norte para analizar diferentes combinaciones de sustrato (100% bagazo y bagazo + cachaza 75/25) con temperatura (20, 30 °C) y humedad (60, 70%), obteniendo como resultado 24 unidades experimentales. El proceso se dividió en dos fases: propagación en cajas Petri (1 g de sustrato) y propagación en bolsas de polietileno (1 kg de sustrato). Las variables tiempo de corrida (días) y crecimiento del hongo (% invasión), se evaluaron en la primera fase; mientras que, en la segunda, se evaluó la eficiencia biológica (% EB) y la tasa de productividad (% TP). Finalmente se concluyó, que la humedad y el tipo de sustrato influyen durante el proceso de desarrollo del hongo desde la inoculación, entre tanto, para la fase de producción: sustratos, temperatura y humedad tienen son fundamentales para su fructificación. El tratamiento con mejores resultados fue T8 con 2 días a la colonización, 63.75% de invasión en las cajas Petri; y, 52.41% EB y 1.54% TP.

Palabras clave: Hongo ostra, cachaza, bagazo, crecimiento y tasa de productividad.

ABSTRACT

The production of the fungus *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. has now become an option for economic growth in large industrial sectors. The present investigation evaluated two types of substrates formulated with the residues generated by the sugar industry for the growth of the fungus in particular samples of filter cake and bagasse from the Ingenio Azucarero del Norte were selected to analyze different combinations of substrate (100% bagasse and bagasse + filter cake 75/25) with temperature (20, 30 °C) and humidity (60, 70%), obtaining 24 experimental units as a result. The process was divided into two phases: propagation in Petri dishes (1 g of substrate) and propagation in polyethylene bags (1 kg of substrate). The variables run time (days) and growth of the fungus (% invasion), were evaluated in the first phase; while, in the second, the biological efficiency (% EB) and the productivity rate (% TP) were evaluated. Finally, it was concluded that the humidity and the type of substrate influence during the development process of the fungus from the inoculation, meanwhile, for the production phase: substrates, temperature and humidity are fundamental for its fructification. The treatment with the best results was T8 with 2 days to colonization, 63.75% invasion in Petri dishes; and, 52.41% EB and 1.54% TP.

Keywords: Oyster mushroom, filter cake, bagasse, growth and productivity rate.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La producción de azúcar en el Ecuador ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos cinco años. Solo en el 2020 “se produjeron 795 144 toneladas métricas, que se procesaron en 13.2 millones de sacos de 50 kilogramos” (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador, 2020, p. 61).

El Ingenio Azucarero del Norte (IANCEM) es uno de los más grandes referentes en el país y la región, con más de 50 años de ambigüedad en la provincia de Imbabura. Conforme al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) (2020) posee “una capacidad de fábrica promedio de 50 TCH, y constituye una fuente importante de generación de trabajo de manera directa e indirecta; además se estima que la empresa cuenta con más de 300 trabajadores” (p. 45).

No obstante, la eficiencia de los procesos de extracción y elaboración de azúcar de caña, en el IANCEM se han visto afectados por la producción de los residuos de bagazo y cachaza, que según Pastrano (2019) son considerados “agentes contaminantes” (p. 103) y en función de lo manifestado por Mena (2021), en el lugar, existe “un excedente anual de bagazo por dos toneladas y cachaza de cinco toneladas anuales estimadas” (p. 16); que no han sido destinadas para ningún uso representativo para la empresa, por lo que se generan gastos ya que requieren de un espacio para su almacenamiento.

El bagazo es utilizado como un biocombustible para generar vapor en las fábricas azucareras. Desde el criterio de Barriga (2018) es “un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña” (p. 88). La cachaza en cambio, es un material de color oscuro que proviene del proceso de clarificación del jugo de la caña por el lavado y sedimentación de los lodos (raíces, tierra y cera), produce mal olor durante su almacenamiento y suele ser utilizada como abono orgánico, de acuerdo a lo manifestado por Arreola et. al. (2004).

Es una práctica común, en países en vías de desarrollo, quemar los residuos agrícolas que generan grandes cantidades de emisiones gaseosas como: dióxido de carbono, óxido nitroso (gas hilarante), metano y gases fluorados, que contaminan la atmósfera y contribuyen con el efecto invernadero. No obstante, a los residuos agrícolas lignocelulósicos se les puede dar valor agregado mediante producciones más limpias, como el cultivo de hongos. Para Cigarra (2018) este tipo de materiales generan una “eficiencia de conversión en proteína por unidad de área y de tiempo superior, en comparación con las fuentes de proteína animal (bovinos, peces y pollos)” (p. 22).

A nivel internacional existe un amplio conocimiento sobre la producción de *Pleurotus ostreatus* P. Kumm., para satisfacer necesidades gastronómicas; sin embargo, dentro del contexto nacional, el entendimiento aun es empírico para su producción, por lo cual solo existen ciertas conceptualizaciones de cómo utilizar los residuos naturales de sectores productivos alternos, como parte de una economía alternativa de reciclaje agrícola, que excluye los puntos críticos

inherentes al proceso como, la temperatura y humedad que requieren los diferentes tipos de sustratos durante el crecimiento y la productividad del hongo.

Con la finalidad de dar nuevas alternativas de uso a los subproductos de la industria azucarera como es el bagazo y la cachaza se expone la propuesta para la obtención de *Pleurotus ostreatus* evaluando el mejor sustrato para su producción en función de la temperatura y humedad del medio; así con ello se busca contribuir en la innovación de las cadenas productivas del cultivo de hongos comestibles.

Objetivos

Objetivo General.

Evaluar dos sustratos para la producción de *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. en el Ingenio Azucarero del Norte.

Objetivo Específicos.

Caracterizar las propiedades físico-química de la cachaza y el bagazo procedentes de la industrialización de la caña de azúcar en el Ingenio Azucarero del Norte.

Determinar el tiempo de corrida y crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. en función del tipo de sustrato y las condiciones de humedad y temperatura a nivel de laboratorio.

Evaluar el rendimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. a través de la eficiencia biológica y la tasa de productividad a escala comercial.

Hipótesis

Hipótesis Nula.

Los sustratos a base de bagazo y cachaza bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad no sirven para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm.

Hipótesis Alternativa.

Los sustratos a base de bagazo y cachaza bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad sirven para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. La Caña de Azúcar

2.1.1. Evolución, taxonomía y citología.

Las relaciones filogenéticas dentro del complejo *Saccharum* se han debatido durante muchos años, sin embargo, Trujillo (2019) menciona que esta especie se clasifica de la siguiente forma:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Tribu:	Andropogoneae
Género:	<i>Saccharum</i>
Especies:	<i>S. officinarum</i> L., <i>S. robustum</i> Jesw., <i>S. spontaneum</i> L., <i>S. barberi</i> Jesw., y <i>S. sinense</i> Roxb.

Los expertos de la caña de azúcar consideran que seis especies son importantes como especies progenitoras en el origen de los híbridos comerciales modernos (*Saccharum* spp.). Estas seis especies (enumeradas a continuación) se distinguen según el contenido de azúcar, el grosor del tallo, las características florales, el número de cromosomas y los filos epidérmicos.

Los primeros cuatro de la lista a continuación están en cultivo, mientras que los dos últimos (*S. spontaneum* y *S. robustum*) son especies silvestres que crecen en el sur de Asia y Nueva Guinea (Trujillo, 2019).

S. officinarum L.: caña de jardín dulce, jugosa y de tallo grueso, inicialmente producida en Nueva Guinea.

S. barberi Jesw.: bastones indios de tallo fino y dulce.

S. sinense Roxb.: bastones chinos dulces y de tallo fino.

S. edule Hassk.: caña de jardín de inflorescencia comestible, se puede encontrar en Nueva Guinea y Melanesia.

S. spontaneum L.: cañas silvestres muy delgadas, resistentes, con bajo contenido de azúcar, se encuentran en Nueva Guinea y Asia meridional.

S. robustum Brandes & Jeswiet ex Grassl: son cañas silvestres de tallo alto, duro y grueso, poseen un poco de jugo y azúcar, existen cultivos en Nueva Guinea e Indonesia oriental.

Los cultivares comerciales modernos de caña de azúcar son híbridos altamente heterocigotos, poliploides complejos y aneuploides, a menudo con cuatro características de las

especies mencionadas de *Saccharum* en su ascendencia evolutiva. Los estudios citológicos mostraron que la nobilización se caracteriza por una transmisión cromosómica asimétrica (Trujillo, 2019).

2.1.2. Composición química.

En términos generales, la composición química de la caña de azúcar está influenciada por factores ambientales y labores culturales de acuerdo con las variedades según sus formas de cultivo. Pero, dentro de sus elementos descriptivos químicos los valores más representativos son los que se presentan en la Tabla 1, expuesta a continuación:

Tabla 1

Composición química de la caña de azúcar

Caña triturada	Porcentaje (%)
Agua	73 – 76
Sólidos solubles	10 – 16
Fibra (seca)	11 – 16
Azúcares	75 – 92
Sacarosa	70 – 88
Glucosa	2 – 4
Fructosa	2 – 4
Sales	3.0 – 4.5
Ácidos inorgánicos	1.5 – 4.5
Ácidos orgánicos	1.0 – 3.0
Ácidos carboxílicos	1.1 – 3.0
Aminoácidos	0.5 – 2.5
Proteínas	0.5 – 0.6

Fuente: Pierre (2018).

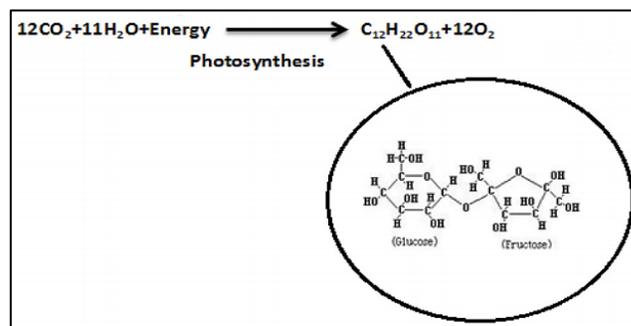
2.1.3. Producción de azúcar.

El azúcar se encuentra en todas las hojas verdes, frutas y verduras en forma de carbohidratos donde se almacena como sacarosa. Este producto se divide acorde a su producción industrial en: azúcar en bruto y azúcar refinado.

El azúcar en bruto es sacarosa purificada y cristalizada; una combinación de fructosa y glucosa con polarización (Pol) de 96 - 99°, que se muestra en la Figura 1. Por su parte, el azúcar refinado es producido a partir de caña de azúcar, remolacha, maíz, yuca, etc. productos que se cultivan principalmente en el área tropical y subtropical del mundo (Torres, 2019).

Figura 1

Formación de la glucosa y fructosa



Fuente: Torres (2019).

El azúcar en bruto se utiliza principalmente para producir azúcar refinado, que requiere la eliminación de impurezas y blanqueo previamente para su consumo. La polarización del azúcar

refinado tiene más de $> 99^\circ$ de glucosa. Los azúcares refinados se utilizan para el consumo diario (dieta básica) y como insumo de la industria alimentaria y de bebidas.

De acuerdo al reporte de la Corporación Financiera Nacional (CFN) (2021), la elaboración y refinación de azúcar de caña en Ecuador incrementó durante el 2019 al 13.58%. Además, la empresa internacional Yara (2022), menciona que, el consumo per cápita a la fecha de este producto en el mundo asciende anualmente entre 1.5 a 2% sin embargo hasta la fecha esta cifra se sitúa en 24 kg de azúcar por persona.

2.2. Los Residuos de la Industria Azucarera

La producción agroindustrial azucarera genera diferentes subproductos durante su proceso de elaboración, y aunque nivel mundial es poco cuantificable, al finalizar el año 2008 el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (2015) reportó una producción de 510 000 m³ de vinaza, 1 300 000 t de bagazo, 140 000 t de cachaza y 35 000 t de ceniza. En la figura 2, se visualizan algunos de los residuos procedentes de la producción del azúcar de caña.

Figura 2

Residuos de la producción de azúcar de caña



Nota: A) *Bagazo de caña*; B) *Caña de azúcar seca* y C) *Melaza*. Fuente: Vargas (2018).

Además, por cada 100 toneladas de caña se obtienen los siguientes subproductos, plasmados en la tabla 2, que se presenta a continuación:

Tabla 2

Subproductos por cada 100 toneladas de caña de azúcar.

Producto	Toneladas
Azúcar (96%)	10.65
Bagazo (50% humedad)	21.30
Melaza (88% sólidos)	3.30
Cachaza (75% humedad)	3.00
Residuos agrícolas	30.0

Nota: Palma (2015).

2.2.1. El bagazo.

Para Proaño (2019) el bagazo que se encuentra representado por la figura 3, es “el residuo lignocelulósico, fibroso, obtenido a la salida del último molino del tándem durante la fabricación del azúcar al momento de extraer el jugo de la caña” (p. 27). Representa el 28% en peso de la caña que se procesa y se encuentra constituido por cuatro fracciones: fibra (45%), sólidos insolubles (2 - 3%), sólidos solubles (2 - 3%) y agua (50%); representa el coproducto de mayor tonelaje y volumen de la producción industrial del azúcar de caña.

Figura 3

Bagazo de caña de azúcar.



Fuente: Carrizo (2020).

2.2.1.1. Estructura.

El bagazo mantiene un 50% de humedad al final de su último molido, además contiene un valor residual de sacarosa aproximadamente del 4% (base seca). Es significativo exponer que representa entre un 23 - 27% del total del desecho (11-13% base seca). Desde el punto de vista general de su estructura, se caracteriza por su elevada heterogeneidad morfológica y está formado por dos fracciones bien diferenciadas; la fibra, de estructura cristalina, estable químicamente, brinda rigidez a la planta y el meollo o parénquima de estructura amorfa posee un alto grado de absorción (Galarza, 2017).

2.2.1.2. Composición física y morfológica.

Físicamente, según Galarza (2017), el bagazo está constituido por cuatro fracciones cuya magnitud relativa está en dependencia del proceso agroindustrial azucarero, así, “la designada como fibra es aproximadamente de un 45 %; los sólidos no solubles entre el 2 - 3%; los sólidos solubles entre el 2 - 3% y el agua en proporción de 51 - 49%” (p. 103). La parte designada como fibra por los azucareros está compuesta de toda la fracción sólida orgánica insoluble en agua

presente originalmente en el tallo de la caña y que se caracteriza por marcada heterogeneidad desde el punto de vista morfológico (constituida por la fracción de fibra verdadera y por el meollo).

La fracción insoluble está formada principalmente por sustancias inorgánicas (como piedras, tierra, materiales extraños) de cuya presencia son responsables las condiciones del procesamiento agrícola, así como del tipo de corte y recolección. Los sólidos solubles abarcan la fracción que se disuelve en agua, compuesta principalmente por sacarosa y ceras en menor proporción dentro del bagazo (Galarza, 2017).

2.2.1.3. Composición química.

Desde el punto de vista químico, según Ulloa (2019), el bagazo sin tratar “tiene 35% de celulosa y cantidades similares de hemicelulosa (25%) y lignina (22%)” (p. 56). La celulosa se degrada en forma sencilla por el *Pleurotus ostreatus* P. Kumm que es celulolítico. Los celulósicos, proveen energía al hongo durante su colonización en el sustrato mismo. Por su parte, el nitrógeno mantiene una alta presencia en el bagazo.

La cantidad de celulosa aumenta continuamente después de cada pretratamiento con ácido o base, variando desde un contenido inicial del 35% hasta aproximadamente el 85% con pretratamientos con NaOH al 2% o más. La mayor parte de la fracción de hemicelulosa se elimina utilizando ácido, las fracciones de hemicelulosa más pequeñas se eliminan en los pasos básicos posteriores, alcanzando valores mínimos para NaOH al 0.5% o más.

Además, el porcentaje relativo de lignina aumenta ligeramente con el pretratamiento ácido debido a la eliminación de otros componentes (principalmente hemicelulosas) y luego

disminuye progresivamente con los pretratamientos con concentraciones de NaOH entre 0.5% y 2%. Así, la celulosa y hemicelulosas componen la fracción que contiene la proporción de carbohidrato del bagazo, definida a nivel analítico como holocelulosa (Galarza, 2017). A continuación, en la tabla 3, se encuentran especificados los diferentes componentes químicos del bagazo de caña de azúcar:

Tabla 3

Composición química del bagazo de caña de azúcar

Características químicas (%)	Integral	Fracción fibra	Médula
Celulosa	46.6	47.0	41.2
Pentosanas	25.2	25.1	26.0
α celulosa	38.3	40.4	-
Lignina	20.7	19.5	21.7
Extractivos A/B	2.7	2.3	2.9
Solubilidad en agua caliente	4.1	3.4	4.2
Solubilidad en agua fría	2.2	2.1	4.0
Cenizas	2.6	1.4	5.4

Fuente: Pellerano (2019).

2.2.2. La cachaza.

Para Restrepo (2018) la cachaza que se observa en la figura 4, es “el residuo que se obtiene del filtrado, durante el proceso de clarificación del jugo de caña en los ingenios azucareros” (p. 52). Es un material café oscuro o negro y consiste principalmente en una mezcla de fibra de caña, sacarosa, cera, fosfatos de calcio, azufre, arena y tierra. La mayor parte de estos componentes procede de la molienda de la caña.

Figura 4

Cachaza de la caña de azúcar



Fuente: Pastrano (2019).

Así, en términos sencillos la cachaza es el residuo que se obtiene por sedimentación del jugo suspendido y que posteriormente se somete a filtración, cuyo mayor uso es de abono. Su constitución depende de varios factores, entre los más destacables son: tipo de suelo, variedad de caña, tipo de cosecha, forma de la extracción de jugo, cantidad de cal adicionada, entre otros; así como, los métodos de filtración empleados (Pastrano, 2019).

2.2.2.1. Composición química.

Con la clarificación del extracto de caña, se produce la cachaza que posee un gran porcentaje de materia orgánica en forma de coloides dispersos, que al ser sometida a la alcalinización se precipita por la presencia de los aniones orgánicos que se encuentran en forma de sales de calcio, que en conjunto con ciertas sustancias son arrastrados en los precipitados. De manera general, se asevera que es rica en nitrógeno y fósforo. Conforme a Vargas (2018): “El nitrógeno se presenta como proteínas y otras formas nítricas y amoniacaes más simples”. Por su

parte, el fósforo se encuentra en combinaciones orgánicas complejas como fosfolípidos y nucleoproteínas, algunas veces como fosfatos de calcio formados del proceso de clarificación” (p. 208). En la tabla 4 que se observa a continuación se detalla la composición química de la cachaza:

Tabla 4

Composición química de la cachaza de la caña de azúcar

N°	Componente	g/100g de materia seca
1	Sacarosa	5-15
2	Cera	5-15
3	Bagacillo	15-30
4	Proteína (N x 6.25)	5-15
5	Pectina	1-5
6	Cenizas	9-20
7	SiO ₂	4-10
8	CaO	1-4
9	P ₂ O ₅	1-3
10	MgO	0.5-1.5

Fuente: Vargas (2018).

2.3. Los Sustratos

Los microorganismos según Carrizo (2020) producen “enzimas para adquirir energía y nutrientes a través de la descomposición de sustratos orgánicos complejos y, de hecho, la actividad de las enzimas extracelulares se ha relacionado con las tasas de descomposición y la mineralización de nutrientes” (p. 70). Junto con los factores abióticos, la actividad de las enzimas extracelulares está regulada por los insumos de recursos de las plantas, ya que los detritos, la

caída y los exudados radiculares sirven como fuentes de sustratos para la degradación enzimática y proporcionan la energía y los elementos necesarios para la síntesis enzimática.

Por lo tanto, para Mónaco (2019) la variación en los insumos de las plantas al suelo, que surgen de cambios en “la productividad de las plantas, la composición de la comunidad o la asignación de recursos, tiene el potencial de causar una variación en la actividad de las enzimas extracelulares con implicaciones para el funcionamiento del ecosistema” (p. 72).

La mayoría de los estudios que examinan el efecto de la composición del sustrato sobre la actividad enzimática han utilizado cambios en la composición de la comunidad vegetal como un indicador de los cambios en la composición del sustrato.

Si bien estos estudios han demostrado la importancia de la composición de la comunidad vegetal para influir en la actividad enzimática, los estudios de campo no pueden distinguir los efectos de los cambios en la composición del sustrato de otros cambios coincidentes en los insumos, que resultan según Lastra (2019) de “cambios en la composición de la comunidad vegetal” (p. 52). Por lo tanto, estos estudios no pueden dilucidar los mecanismos específicos que subyacen a los efectos de los cambios en la composición de las plantas sobre la actividad y su importancia relativa sigue sin estar clara.

Si bien la composición del sustrato ciertamente juega un papel importante en la regulación de la producción de enzimas, la actividad microbiana también podría verse influenciada por la diversidad y cantidad disponible. Por ejemplo, el modelo de estimulación del sustrato sugiere que el aumento de la diversidad del mismo debería aumentar la actividad enzimática en general, al proporcionar materia para un mayor número de enzimas. Esta

estimulación podría ocurrir porque una mayor diversidad del medio aumenta el número de nichos disponibles para los microorganismos, lo que respalda una comunidad microbiana más diversa del suelo vegetal.

Aunque el bagazo y la cachaza contienen una alta concentración de materia orgánica celulósica (96% de sólidos volátiles), su disponibilidad para la degradación microbiana está limitada principalmente por dos factores: la forma compleja no hidrolizada de celulosa y el efecto de unión de la lignina a la celulosa, que evita que esté disponible para la hidrólisis. Teniendo en cuenta el desafío del sustrato lignocelulósico para la degradación microbiana, muchos procedimientos de aclimatación preparan una mezcla activa de cultivo microbiano para realizar las investigaciones (Madero, 2020).

Dado que se requiere un cultivo heterogéneo de microorganismos, donde, desde el criterio de Madero (2020) se utiliza “una mezcla de lodo de aguas residuales anaeróbicas recién digeridas, estiércol de vaca y suelo que contenía hojas en descomposición debajo de los árboles para sembrar el sustrato mixto de bagazo y cachaza” (p. 73).

2.4. Los Hongos

2.4.1. Generalidades.

Mantienen un conspicuo cuerpo fructífero en forma de paraguas en ciertos hongos, típicamente del orden Agaricales en el filo Basidiomycota pero también de algunos otros grupos. Sin embargo, no existe una distinción científica entre los dos nombres, y cualquiera de los dos se puede aplicar correctamente a cualquier estructura de fructificación de hongos carnosos. En un sentido muy restringido, hongo indica al de índole comestible común de campos y prados

(*Agaricus campestris* L.). Una especie muy relacionada, *A. bisporus* (JELange), es el hongo más comercial en los mercados de todo el mundo.

Los esporóforos en forma de paraguas se encuentran principalmente en la familia de los agáricos (Agaricaceae), cuyos miembros tienen branquias delgadas en forma de cuchillas en la superficie inferior del sombrero de donde se desprenden las esporas. El esporóforo de un agárico consta de un sombrero (pileus) y un tallo (estipe); este emerge de una extensa red subterránea de hebras filiformes (micelio). Un ejemplo de agárico es el hongo de miel (*Armillaria mellea* P. Umm). El micelio puede bien, sobrevivir en el tiempo por cientos de años o morir en tan solo unos pocos meses, esto dependerá de la suministración de alimento.

Así, según Ballesteros (2019) “siempre que haya alimento disponible y la temperatura y la humedad sean adecuadas, un micelio producirá una nueva cosecha de esporóforos cada año durante su temporada de fructificación” (p. 146).

Pocos hongos pertenecen al orden Boletales, que tienen poros en una capa fácilmente desprendible en la parte inferior del sombrero. Los géneros *Agaricus* y los boletes incluyen la mayoría de las formas que se conocen como hongos. Otros grupos, embargo, se consideran hongos, al menos por los profanos que poseen. Entre estos se encuentran los *Hydnums* o hongos erizo, que tienen dientes, espinas o verrugas en la superficie inferior del sombrero (*Dentinum repandum* L., *Hydnum imbricatum* L.) o en los extremos de las ramas. Los poliporos, hongos de repisa u hongos de soporte (orden Polyporales) tienen tubos debajo de la tapa como en los boletes, pero no están en una capa fácilmente separable.

Los poliporos por lo general habitan en árboles ya sean estos vivos o muertos, a veces su papel es el de una plaga destructiva. Varios de estos renuevan su crecimiento anualmente y, por ende, poseen capas de crecimiento anuales que permiten estimar su edad. Los ejemplos incluyen la silla de montar de la dríada (*Cerioporus squamosus* Huds.), el hongo del bistec (*Fistulina hepatica* Schaeff), el hongo del artista (*Fomes applanatus* Pers.) y especies del género *Trametes*. Las clavarias, u hongos club (*Clavaria*, *Ramaria* Pers.), son arbustos, mazos o corales en el hábito de crecimiento.

Un hongo club, el hongo de la coliflor (*Sparassis crispa* Wulfen), tiene ramas aplanadas agrupadas que se encuentran muy juntas, dando la apariencia de coliflor vegetal. Los hongos cantarelloides son hongos en forma de maza, cono o trompeta con una parte superior expandida que lleva crestas gruesas dobladas a lo largo de la parte inferior y descendiendo a lo largo del tallo. Tal es el caso del rebozuelo (*C. cibarius* FR.).

Los puffballs (familia Lycoperdaceae), los cuernos apuestosos, las estrellas de tierra (una especie de puffball) y los hongos de los nidos de pájaros se tratan generalmente con los hongos. Las colmenillas (*Morchella* sp., *Verpa* sp.) y las falsas colmenillas o lorchels (*Gyromitra* sp., *Helvella* sp.) del filo Ascomycota se incluyen popularmente con los verdaderos hongos por su forma y estructura carnosa; se caracterizan por asemejarse a una esponja cónica que se encuentra doblada profundamente o picada en la parte súpera de un tallo vacío. Algunos se encuentran entre los hongos comestibles más apreciados (por ejemplo, *Morchella esculenta* FR.). Otro grupo de ascomicetos incluye los hongos copa, con una estructura frutal parecida a una copa o plato, a veces muy coloreada.

2.4.2. Partes de los hongos.

El hongo desde el criterio de Armadate (2019) se compone de “una parte subterránea (micelio) y una parte aérea, a menudo comestible, que también es el órgano reproductor” (p. 12).

Además, de otros elementos que se describen a continuación, se encuentran en la figura 5:

Esporas: Semillas microscópicas que actúan como agentes reproductores; generalmente se liberan al aire y caen sobre un sustrato para producir un nuevo hongo.

Vástago: Eje que sostiene la tapa del hongo.

Gill: Parte fértil productora de esporas del hongo, ubicada debajo del sombrero.

Micelio: Maraña de hifas creada a través de la germinación de esporas, a partir de la cual se desarrolla la parte aérea del hongo.

Hifa: Filamento microscópico, por lo general es hialino, este extrae agua y la materia orgánica necesaria para el desarrollo de los hongos.

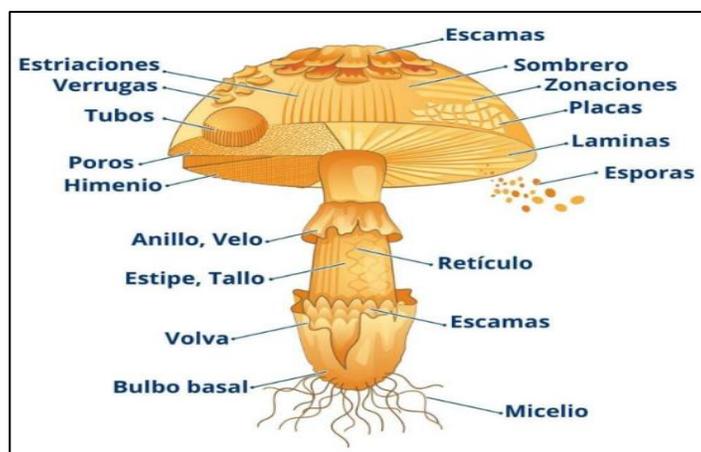
Volva: Restos de una membrana que cubría completamente el hongo inmaduro y se rompió a medida que crecía el tallo.

Anillo: Membrana ubicada debajo de la tapa y rodeando el tallo; restos de una membrana que cubría las branquias del hongo inmaduro y se rompía a medida que crecía el casquete.

Tapa: Parte superior del hongo de diferente forma y color que protege las branquias; suele parecerse a un tocado, de ahí su nombre.

Figura 5

Partes del hongo.



Fuente: Armadate (2019).

2.4.3. Reproducción de los hongos.

Para Ballesteros (2019), los hongos pueden reproducirse “asexualmente por fragmentación, gemación o producción de esporas, sexualmente con micelios homotálicos o heterotálicos” (p. 93).

2.4.3.1. Reproducción directa.

Los hongos se reproducen sexualmente y/o asexualmente. Los perfectos se reproducen tanto sexual como asexualmente, mientras que los imperfectos se reproducen solo asexualmente (por mitosis). Tanto, en la reproducción sexual como en la asexual, producen esporas que se dispersan del organismo parental flotando en el viento o montando en un animal; las cuales son más pequeñas y livianas que las semillas de las plantas. Al liberarse un gran número de esporas liberadas se incrementa la probabilidad de caer en un lugar donde su crecimiento se vea favorecido.

2.4.3.2. Reproducción asexual.

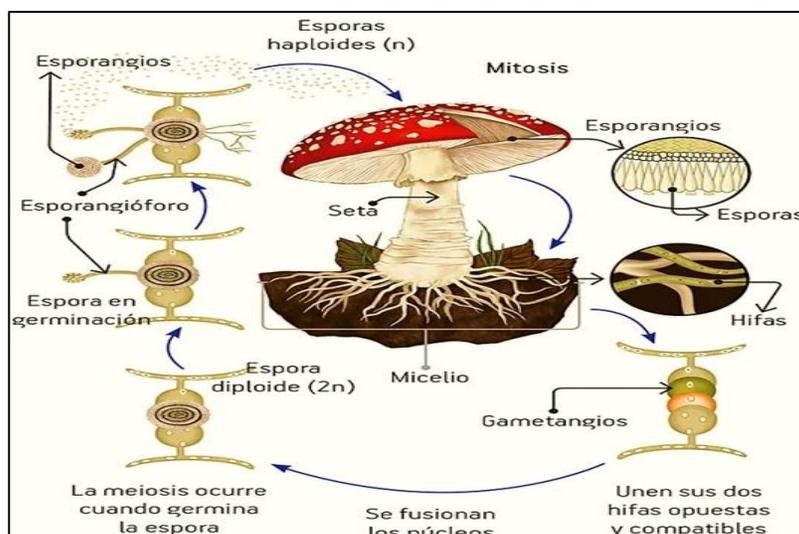
Los hongos se reproducen asexualmente por fragmentación, gemación o producción de esporas. Así, los fragmentos de hifas pueden desarrollar nuevas colonias. La fragmentación del micelio ocurre cuando un micelio fúngico se separa en pedazos y cada componente crece en un micelio separado. Las células somáticas de la levadura forman brotes. Durante la gemación (un tipo de citocinesis), se forma una protuberancia en el costado de la célula, el núcleo se divide mitóticamente y la yema finalmente se desprende de la célula madre.

Según Jácome (2019) el modo más común de reproducción asexual es “a través de la formación de esporas asexuales, que son producidas por un solo padre (a través de la mitosis) y son genéticamente idénticas a ese padre” (p. 157). Estas permiten a los hongos expandir su distribución y colonizar nuevos ambientes. Pueden ser liberados del talo padre, ya sea fuera o dentro de un saco reproductivo especial llamado esporangio.

Hay muchos tipos de esporas asexuales, las conidiosporas son unicelulares o multicelulares que se liberan directamente desde la punta o el costado de la hifa. Otros tipos son asexuales y se originan en la fragmentación de una hifa para formar células individuales que se liberan; algunos de ellos tienen una pared gruesa que rodea el fragmento. Sin embargo, otros brotan de la célula madre vegetativa. Las esporangiosporas se producen en un esporangio.

Figura 6

Reproducción sexual de los hongos.



Fuente: Armadate, (2019).

2.5. El Hongo Ostra

Pleurotus ostreatus P. Kumm¹ o también denominado hongo ostra, fue utilizado en cultivos durante más de 100 años, actualmente ocupa el tercer lugar en el mundo en términos de volumen de producción, después de los hongos champiñones y *Lentinula edodes* Berk. (shiitake). El tamaño y la calidad del rendimiento dependen de las condiciones de crecimiento, es decir, la temperatura, humedad del sustrato, el aire y la acidez del medio, así como de la variedad o especie y el tipo de medio de cultivo.

¹ *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. es un hongo saprofito o parásito débil, que se caracteriza por descomponer la materia orgánica, pertenece a la agrupación de pudrición blanca, su crecimiento se da de manera natural en especies forestales como el arce, la boya y el aliso, primordialmente en sitios húmedos. El género *Pleurotus* proviene del griego “pleuro”: que hace referencia a la posición lateral del estípite frente al píleo; y, “Streatus” que hace referencia a la apariencia de una ostra en cuanto al cuerpo fructífero.

El hongo ostra, como hongo saprofito utiliza celulosa, hemicelulosa y lignina para su crecimiento, por lo que se puede cultivar en madera, aserrín, paja de diversas especies, asentamientos de maíz y otros desechos agrícolas como los generados en la caña de azúcar (bagazo y cachaza).

Sin embargo, como expone Barrionuevo (2020): “Debido a que crece y rinde más rápido en paja que en madera, su cultivo en Europa se lleva a cabo con mayor frecuencia sobre paja, sometida a pasteurización” (p. 182); sin embargo, en Latinoamérica han empezado a aprovecharse los residuos de la caña de azúcar como un medio alternativo altamente eficiente.

En China, donde la producción de hongos es responsable de más del 70% del mercado mundial, el cultivo de *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. se realiza principalmente sobre aserrín con diversas adiciones. También se utilizan desechos de la producción de algodón y paja de cereales, especialmente arroz, pero en menor escala. La disponibilidad de este material comienza a verse limitada por el desarrollo de la industria avícola china, por lo que se sugiere utilizar paja de trigo y arroz, que es un residuo agrícola, actualmente en desuso.

El enriquecimiento adicional de la paja de estas especies con la adición de bolsas de semillas de algodón mejora significativamente la calidad y el rendimiento del hongo ostra en comparación con la superficie de la propia paja. Debido a que China también es una potencia en el cultivo de hierbas, también se llevan a cabo investigaciones sobre el uso de los desechos de su producción para el cultivo de hongos ostra.

El cultivo de hongos generalmente se lleva a cabo en condiciones totalmente controladas. Para este tipo durante el crecimiento micelial en el medio de cultivo, la temperatura debe ser de 24 °C, humedad relativa 85 - 95%, contenido de CO₂ de 5 000 a 20 000 ppm.

Durante el moldeo la temperatura inicial del aire, debe ser 10 – 15 °C, humedad relativa 95 - 100%, contenido de CO₂ por debajo de 1000 ppm, con acceso de luz en el rango de 1 000 -2 000 lux. Cuando se cultivan esporocarpos, la temperatura del aire debe estar en el rango de 10 – 21 °C (dependiendo de la especie) y la humedad del aire en el rango de 85 - 90%.

Dependiendo del avance tecnológico de las instalaciones utilizadas en el cultivo de hongos, estas condiciones se cumplen en menor o mayor medida. Sin embargo, para Arteta (2021) “una mayor precisión del cultivo aumenta su productividad y su salubridad” (p. 48).

Tanto el medio de cultivo como las condiciones de crecimiento juegan un papel muy importante para la producción del hongo ostra. También dependen del grado de higiene en el proceso de producción ya que estos comúnmente son producidos en monocultivos.

El incumplimiento de las normas de higiene da lugar a una mayor incidencia de enfermedades y plagas fúngicas y bacterianas. Aunque, en comparación con otras especies los hongos ostra (Figura 7) son atacados con menos frecuencia por enfermedades y plagas; sin embargo, el uso de medidas de protección es un elemento importante en su producción.

Figura 7

Hongo Pleurotus ostreatus P. Kumm.



Fuente: Barrionuevo (2020)

2.5.1. Clasificación y morfología.

El *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. se encuentra clasificado taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino: Fungi

Subreino: Fungi Superior

División: Basidiomycota

Subdivisión: Basidiomycotina

Clase: Himenomycetes

Orden: Agaricales

Familia: Tricholomataceae

Género: *Pleurotus*

Especie: *Pleurotus ostreatus* P. Kumm.

Es un típico hongo agarical, que posee una capa micelial basal y presenta una textura delgada y blanca. El píleo al madurar toma la de una concha, las láminas pueden ser cremas o de color blanco en en estas se encuentran los basidios no tabicados con dos pares de basidiosporas blanquecinas de forma elíptica con dimensiones de 8 - 11 x 3 - 4 mm.

El píleo es liso, brillante y poco vistoso durante los días con alta humedad. El estípite se caracteriza por ser achatado con dimensiones de 1 - 4 x 1 - 2 cm, las lámelas por su parte son blanquecinas, decurrentes y con amplios espacios, mientras que, las esporas en masa pueden tonarse blancas o grisáceas.

2.5.2. Composición nutricional.

El contenido nutricional de *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. presenta un alto valor ya que contiene minerales, vitaminas y proteínas. Su delicioso sabor es acogido en varias regiones del planeta dentro de sus diferentes gastronomías. Debido a la calidad de contenido proteico, este hongo es conocido culturalmente como “bistec vegetal”; ya que, su proteína se caracteriza por ser homologable e incluso posee excelentes propiedades organolépticas.

Además, su contenido graso y sódico es bajo; mientras que el porcentaje de potasio lo hace ideal para el control de enfermedades cardiovasculares por su alto contenido, así como para combatir la obesidad. Es relevante mencionar que contiene aminoácidos esenciales, vitaminas y ácido ascórbico (vitamina C). Posee altos contenidos de ergosterol y vitamina D, así como también ciertos minerales (P, Na, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn y Cu). A continuación, en la tabla 5, se visualiza la composición nutricional del hongo:

Tabla 5*Composición nutricional de Pleurotus ostreatus P. Kumm.*

Sustancia	Porcentaje (%)
Agua	92.20
Materia seca	7.80
Ceniza	9.50
Grasa	1.00
Proteína bruta	39.00
Fibra	7.50
Fibra cruda	1.40
Nitrógeno total	2.40
Minerales	mg/100 g
Calcio	33
Fósforo	1.34
Potasio	3793
Hierro	15.20
Ácido ascórbico. Vit. C	90-144
Tiamina. Vit. B1	1.16-4.80
Niacina. Vit. B5	46-108.7
Ácido fólico	65

Fuente: Barrionuevo (2020).

2.5.3. Cultivo de Sustratos para producir Hongos Ostra

A continuación, se detallan los pasos relevantes y correctos acorde a los lineamientos de Cevallos (2018), para la producción de hongos ostras.

2.5.3.1. Preparación de medios de cultivo.

Para cultivos puros de hongo ostra, el sustrato a usarse debe estar fragmentado en dimensiones de 2 a 3 centímetros. Para los desechos vegetales puede usarse una picadora. Luego de obtener el tamaño requerido, el material se debe trasladar hacia saquillos de manta y así posteriormente proceder a remojarlos durante 120 a 600 minutos. A continuación, el exceso es eliminado hasta obtener la humedad necesaria para proceder con la pasteurización del sustrato dentro de los sacos. El agua se debe cambiar con frecuencia para evitar la fermentación del campo (Cevallos, 2018).

2.5.3.2. Inoculación del sustrato.

Los sustratos mezclados se deben colocar en bolsas de polipropileno resistentes al calor y se esterilizaron a 90 °C durante 15 minutos; para posteriormente, dejarlas enfriar a temperatura ambiente. Después de la esterilización, cada una de las bolsas experimentales de polipropileno se debe inocular en condiciones asépticas (Cevallos, 2018).

2.5.3.3. Siembra.

Por lo general a nivel comercial se utilizan bolsas plásticas transparentes, en cuanto a las dimensiones, estas pueden variar en función de las necesidades del productor y la experiencia. Las bolsas deben de ser nuevas y transparentes, puesto que así se puede evitar contaminar el producto; por lo cual es necesario examinarlas y así asegurarse de que no existan desperfectos o suciedad. La siembra se debe realizar en un espacio limpio y previamente sanitizado (Cevallos, 2018).

2.5.3.4. Fructificación.

Cuando el micelio ha colonizado completamente el sustrato, puede producir cuerpos fructíferos en respuesta a un cambio repentino en el entorno físico externo, que promueve la formación de cuerpos fructíferos iniciales que luego se desarrollan en cuerpos fructíferos. Los cambios ambientales que pueden desencadenar la fructificación incluyen a la temperatura, intercambio de gases, humedad relativa, luz y disponibilidad de agua dentro del compost. Estos factores de inducción también influyen en la calidad del hongo (Cevallos, 2018).

2.5.4. Cosecha.

El procedimiento para la recolección de hongos ostra implica agarrar cada tallo de manera individual y girar el hongo hasta que se extraiga del sustrato. A medida que el cultivo comienza a fructificar, es importante mantener alta la humedad (se recomienda de 85 a 90%).

Como antes, se debe permitir que el aire fluya a través del área de cultivo antes de rociar. Las temperaturas ahora pueden ser más altas que en la etapa inicial de fijación. Los períodos de recolección varían entre las diferentes cepas de hongos y generalmente oscilan entre 6 y 12 semanas y se pueden recolectar en varias oleadas (Cevallos, 2018).

El factor determinante en el número de descargas a cosechar y el tiempo de producción es la formulación del sustrato junto con las condiciones ambientales durante el cultivo. Sin embargo, un período entre el lavado de los hongos se denomina etapa de reposo, en el que los micelios deben acumular nutrientes. Durante esta etapa, debe evitarse la contaminación para permitir un rápido crecimiento de micelios. La recolección se puede llevar a cabo en diferentes etapas de maduración dependiendo de la especie, el valor de mercado y las preferencias de los consumidores (Cevallos, 2018).

2.5.4.1. Evaluación del producto.

Las bolsas se desinfectaron periódicamente con alcohol e hipoclorito para evitar la contaminación de los sustratos por microorganismos no deseados. Cuando el micelio cubre completamente las bolsas de sustratos, estas se trasladaron a otra sala para la fructificación. Las bolsas deben abrirse para regarlas regularmente para la fructificación. Después de 27 días de inoculación debe tomarse el registro de los pesos del hongo recolectado (Cevallos, 2018).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Caracterización del Área de Estudio

3.1.1. Ubicación del área de estudio.

La investigación se realizó en los laboratorios del Ingenio Azucarero del Norte. La tabla 6, alude a las características del sitio según Pozo (2017):

Tabla 6

Descripción del área de estudio.

Cantón	Ibarra.
Provincia	Imbabura.
Sitio	Ingenio Azucarero del Norte.
Altitud	1500 m.s.n.m.
HR. Promedio	80.0%
Temperatura media	19.5°C.

A continuación, se visualiza la ubicación del estudio figura 8, vía Google Maps:

Figura 8

Ubicación del Ingenio Azucarero del Norte



3.2. Materiales, Sustancias y Equipos

Durante esta investigación se utilizaron los materiales, sustancias y equipos que se muestran a continuación:

3.2.1. Materia prima.

- Cepa del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm.
- Bagazo
- Cachaza

3.2.2. Materiales.

- Cajas Petri
- Termómetros
- Mechero bunsen
- Embudo Büchner
- Pinzas metálicas
- Fundas de poliestireno
- Bandejas metálicas
- Erlenmeyer
- Espátula
- Papel aluminio
- Frascos

3.2.3. Equipos.

- Balanza digital
- Autoclave
- Incubadora

- Termo-balanza
- Estufa
- Desecador
- Digestor micro Kjeldahl

3.2.4. Sustancias y reactivos.

- | | |
|------------------------|-------------------|
| • Etanol | C_2H_5OH al 95% |
| • Hipoclorito de sodio | $NaClO$ |
| • Hidróxido de calcio | $Ca(OH)_2$ 0.1 M |
| • Agua destilada | |
| • Ácido sulfúrico | H_2SO_4 al 92% |
| • Hidróxido de sodio | $Na(OH)_2$ al 50% |
| • Ácido bórico | H_2BO_4 al 4% |
| • Ácido clorhídrico | H_2ClO_4 0.02 N |
| • Indicador mixto | |

3.3. Metodología

3.3.1. Caracterización físico química de la materia prima: bagazo y cachaza.

La caracterización físico-química de la materia prima: bagazo y cachaza de caña; fue realizada a través de los análisis físico químicos de: humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra bruta y carbohidratos. Las normas aplicadas en las variables evaluadas se detallan en la tabla 7, que se expone a continuación:

Tabla 7*Variables evaluadas de la materia prima*

Parámetros	Norma técnica	Unidad
Humedad	AOAC 930.15	%
Cenizas	AOAC 923.03	%
Proteína	AOAC 955.39	%
Extracto etéreo	AOAC 920.85	%
Fibra bruta	AOAC 978.10	%
Carbohidratos	Morales (2011)	%

3.3.1.1. Humedad.

Método. A.O.A.C. - 930.15

Fundamento. Se basó en la determinación de la cantidad de agua existente en una muestra. Sirve para expresar los resultados en base seca; por diferencia de peso se obtiene el contenido de materia seca en la muestra.

Procedimiento. Se lavó los crisoles con agua destilada, para luego ubicarlos en una estufa a 105 °C por 8 horas, y secarlos posteriormente en un desecador; una vez se enfriaron, los crisoles fueron pesados. A continuación, se pesaron de 1 a 2 g de muestra molida en los crisoles, que fueron llevados luego a la estufa a 105 °C por 12 horas (durante la noche). Pasado ese lapso se sacaron los crisoles con la muestra para ubicarlos en un desecador hasta que se enfriaron; finalmente fueron pesados y se calculó la humedad con la fórmula 1.

Cálculo.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_{cmh} - P_{cms}}{P_{cmb} - P_c} \times 100 \quad (1)$$

P_c = Peso del recipiente

P_{cmh} = Peso del recipiente más la muestra húmeda

P_{cmb} = Peso del recipiente más muestra seca

3.3.1.2. Cenizas.

Método. A.O.A.C.- 923.03

Fundamento. Se fundamenta en la eliminación total del material orgánico, presente en la muestra por calcinación en una mufla a 600 °C previo a una pre-calcinación. El material inorgánico que no se destruye se denomina ceniza o residuo remanente.

Procedimiento. Se pesó 2 g de muestra en un crisol. Para colocarlos luego en una mufla a 600 °C y mantener a esta temperatura por 2 horas, hasta que la ceniza adquiriera un color blanco o grisáceo. Al final se transfirió la cápsula a un desecador, se enfrió a temperatura ambiente y se pesó. Para obtener el porcentaje de cenizas se utilizó la fórmula 2:

Cálculo.

$$\% \text{Ceniza} = \frac{P_{cz} - P_c}{P_m} \times 100 \quad (2)$$

P_{cz} = Peso del crisol más ceniza

P_c = Peso del crisol

P_m = Peso de la muestra

3.3.1.3. Proteína.

Método. A.O.A.C.- 955.39

Fundamento. El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman en sulfato de amonio al ser digeridas en ácido sulfúrico en ebullición, el residuo se enfría, se diluye en agua y se agrega hidróxido de sodio, se procede a destilar. El amoniaco presente se desprende y se recibe en una solución de ácido bórico, que luego se titula con ácido clorhídrico estandarizado.

Digestión. Se pesaron exactamente 0.04 g de la muestra, para colocarlos dentro del balón de digestión; a continuación, se añadió 0.5 g de catalizador y 2 ml de ácido sulfúrico al 92%. Posteriormente se colocaron los balones en el digestor micro Kjeldahl en los calentadores a 500 °C hasta que la solución adquirió una coloración verde cristalina. Luego se retiraron los balones del digestor y se dejaron enfriar.

Destilación. En esta fase se colocó la muestra en el destilador, y se añadió 10 ml de hidróxido de sodio al 50%, recogiendo el destilado en 6 ml de ácido bórico al 4% hasta que se obtuvieron 60 ml de volumen.

Titulación. Al destilado se le agregó 4 gotas del indicador mixto y se tituló con ácido clorhídrico 0.02 N hasta que la solución cambió de color. Finalmente, se realizó también una titulación en blanco. Para obtener el porcentaje de proteína se aplicó la fórmula 3:

Cálculo.

$$\%N = \frac{ml H_2SO_4 \times H_2SO_4 (N) \times meqN}{g} \times 100 \quad (3)$$

$\% N$ = porcentaje de Nitrógeno

$ml H_2SO_4$ = mililitros de ácido sulfúrico

$H_2SO_4 (N)$ = normalidad de ácido sulfúrico

g = gramos de muestra

$Proteína \% = \% N \times 6.35$

3.3.1.4. Fibra bruta.

Método. A.O.A.C.- 978.10

Fundamento. Permite determinar el contenido de fibra en la muestra, luego esta debe ser digerida con dos tipos de soluciones, una ácida y otra básica como lo son el ácido sulfúrico e hidróxido de sodio. Después de la calcinación, habrá una diferencia de pesos la cual nos permitió indicar la cantidad de fibra presente.

Procedimiento.

Previamente se realizó el secado de la muestra en una estufa a 70 °C. A continuación, se pesó 2 g de muestra y en un matraz se añadió 200 ml de ácido sulfúrico a 0.25 y gotas antiespumantes.

Luego se sometió a ebullición durante 30 min en el condensador, rotando constantemente. Posteriormente se filtró el contenido resultante a través de un embudo Büchner y se lavó con 75 ml de agua hirviendo repitiendo el proceso por tres veces.

Después se retornó el residuo al desecador y se calentó por tres minutos, rotando el matraz periódicamente. Dicho proceso de lavado se repitió, con 25 ml de ácido sulfúrico con tres repeticiones y 25 ml de etanol al 95%. El residuo se transfirió al crisol y se secó en la estufa a 130 °C por dos horas. Finalmente, se enfrió en un desecador para registrar su peso y calcular el porcentaje de fibra con la fórmula 4:

Cálculo.

$$\%Fibra = \frac{A - B}{C} \times 100 \quad (4)$$

A = Peso del crisol con el residuo seco

B = Peso del crisol con la ceniza

C = Peso de la muestra

3.3.1.5. Carbohidratos.

El contenido de carbohidratos se determinó mediante la fórmula 5, empleada por Morales (2011):

$$\%Carbohidratos = \% Humedad + Proteína \% + \%Ex. etéro + \%Cenizas \quad (5)$$

3.3.2. Método deductivo.

Fernández (2022) manifiesta que: “El método deductivo sigue un proceso sintético, analítico, se presentan conceptos, principios, definiciones, leyes o normas generales de las cuales

se extraen conclusiones o consecuencias en las que se aplican; o se examinan casos particulares sobre la base de las afirmaciones generales presentadas”.

Este tipo de método ayudó a comprobar las hipótesis planteadas de acuerdo a cada uno de los resultados obtenidos a través de los distintos procedimientos realizados en la investigación.

3.3.3. Tiempo de corrida del micelio del hongo.

En este caso, se realizaron observaciones visuales de todos los tratamientos durante 7 días desde la inoculación; las revisiones consistieron en verificar la presencia del micelio en el sustrato Díaz et. al (2019).

3.3.4. Determinación del crecimiento del hongo.

Para esta variable, la medición del color, se realizó a través del índice de blanco (IB) aplicado por Oviedo et al. (2016) a través del uso de fotografías de los diferentes tratamientos distribuidos en las cajas Petri, 14 días después de la inoculación de *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. (Ver Anexo 1).

El cálculo se realizó a través de la intensidad de colores del área que ocupó la caja Petri, midiendo los píxeles promedio; los valores que se acercaron más al valor máximo (R: 255. G:255 y B: 255) representaron un índice de blanco mayor. Esta metodología, se realizó a través del software Matlab R2021b.

A continuación, se transformaron los datos obtenidos a porcentaje de invasión, conforme al área de la caja Petri que se encontraba constituida por 63.62 cm² con la fórmula 6:

$$\text{Invasión (\%)} = \frac{\text{Área ocupada por el micelio}}{\text{Área de la caja petri}} \times 100 \quad (6)$$

3.3.5. Productividad del hongo.

La productividad de los tratamientos fue determinada a través de la eficiencia biológica (EF) y la tasa de productividad (TP); que se obtuvieron a través de la aplicación de las fórmulas 7 y 8, que detallan Cruz et al. (2020):

$$EB(\%) = \frac{PHF}{PSF} \times 100 \quad (7)$$

EB = Eficiencia Biológica

PHF = Peso del Hongo Fresco

PSF = Peso del Sustrato fresco

$$TP = \frac{EB}{NDP} \quad (8)$$

TP = Tasa de productividad

EB = Eficiencia Biológica

NDP = Número de Días del Proceso

3.3.6. Método analítico.

Según Lopera et. al. (2010), manifiestan, que: el método analítico se desarrolla a través de la identificación de cada parte que caracteriza una realidad. De forma que, así se logra establecer la relación causa-efecto entre los elementos que componen el objeto de la investigación. Con este tipo de método se analizaron las características y cualidades, en especial de la materia prima: bagazo, hasta el producto final (pienso enriquecido) en cada una de sus etapas de parámetros para la obtención del mismo.

3.3.7. Diseño experimental.

Para este estudio, se empleó un Diseño Completamente al Azar con ocho tratamientos y tres repeticiones; bajo un esquema factorial A x B x C, donde (A) corresponde al porcentaje del tipo de sustrato, (B) a la temperatura y (C) a la humedad. Para aplicar este diseño experimental, se utilizó el software estadístico: STATISTICA 10.

3.3.7.1. Características de la unidad experimental.

Para cada unidad experimental se utilizó, 1g para cada repetición, con un total 24 g de sustrato. Las unidades experimentales se colocaron en una incubadora con las condiciones adecuadas para cada tratamiento.

Para determinar la productividad del hongo, los tratamientos fueron llevados a una mayor escala (1 kg de sustrato) con 25 g de *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. conforme a las especificaciones de Palacios et. al. (2020).

3.3.7.2. Análisis estadístico.

En la tabla 8, se presenta la estructura que se utilizó para la interpretación de los datos en las diferentes variables:

Tabla 8

Esquema del ADEVA para el Diseño trifactorial completamente al azar

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	23
Tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Factor C	1
Interacción AxB	1
Interacción BxC	1
Interacción AxC	1
Error Experimental	16

Nota: La presente tabla, muestra el modelo del ADEVA para el diseño trifactorial completamente al azar del estudio.

3.3.7.3. Análisis funcional.

Se llevó a cabo mediante la aplicación de la prueba de significación de Tukey al 5% a los tratamientos que presentaron significación.

3.3.7.4. Factores en estudio.

Los factores en estudio se muestran en la tabla 9, que se presenta a continuación:

Tabla 9*Descripción de los factores y sus niveles en estudio*

Factores en estudio	
A: Tipo de sustrato	A1: 100% bagazo A2: 75% bagazo y 25% cachaza
B: Temperatura	B1: 20°C B2: 30°C
C: Humedad	C1: 60% C2: 70%

3.3.7.5. Tratamientos.

La combinación de los factores en estudio, se detallan en la tabla 10:

Tabla 10*Descripción y codificación de los tratamientos*

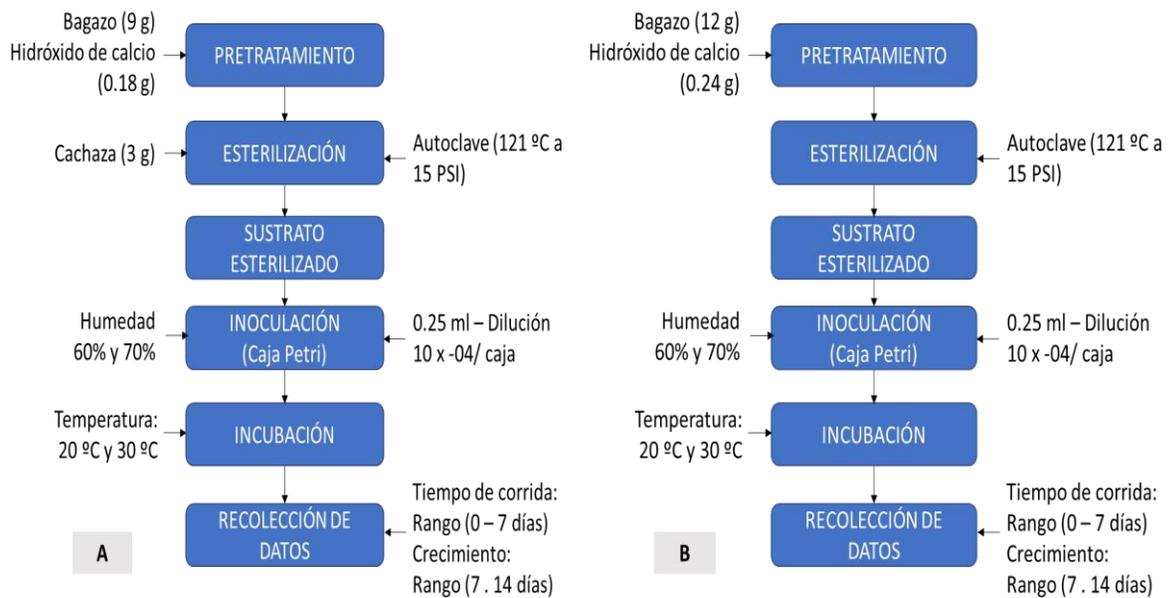
Tratamientos	Combinaciones	Descripción
T1	A1B1C1	Bagazo 100% + Temperatura 20 °C + Humedad 60%
T2	A1B1C2	Bagazo 100% + Temperatura 20 °C + Humedad 70%
T3	A1B2C1	Bagazo 100% + Temperatura 30 °C + Humedad 60%
T4	A1B2C2	Bagazo 100% + Temperatura 30 °C + Humedad 70%
T5	A2B1C1	Bagazo 75% y Cachaza 25% + Temperatura 20 °C + Humedad 60%
T6	A2B1C2	Bagazo 75% y Cachaza 25% + Temperatura 20 °C + Humedad 70%
T7	A2B2C1	Bagazo 75% y Cachaza 25% + Temperatura 30 °C + Humedad 60%
T8	A2B2C2	Bagazo 75% y Cachaza 25% + Temperatura 30 °C + Humedad 70%

3.4. Método de procesamiento

Este experimento se basó en la realización de varios procedimientos que ocurrieron de forma secuencial, los cuales se encuentran especificados en los diagramas que se presentan a continuación en la figura 9 aunque también se llevó un proceso a mayor escala (Ver anexo 2):

Figura 9

Diagrama de flujo del proceso a escala de laboratorio



Nota: A) Bagazo al 75% con cachaza al 25% y B) Bagazo al 100%.

3.4.1. Obtención del material biológico.

El hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. se adquirió en la empresa Biodiversity ubicada en la ciudad de Ibarra; el hongo pertenece a la cepa nativa ceba-gliie-po-010606.

3.4.2. Preparación del sustrato.

Para la elaboración de los sustratos, se utilizó: bagazo y cachaza de caña, procedentes del Ingenio Azucarero del Norte. Antes de extraer la proporción de bagazo para el experimento, se realizó la esterilización del área con alcohol al 70%; para continuar con el tratamiento de este residuo; en esta sección se utilizó la relación de 0.02 g de hidróxido de calcio para 1 g de sustrato en relación de lo especificado por Reyes et al. (2017). Estos componentes fueron previamente pesados y posteriormente mezclados para continuar con su esterilización a través de la autoclave. Finalmente, se tomaron 9 g de bagazo de caña y 3 g de cachaza para el sustrato 75/25; y 12 g de bagazo para el sustrato al 100% quedando cada repetición con 1 g de sustrato conforme a los tratamientos expuestos en la tabla 10. Parte del proceso se visualiza en el Anexo 3.

3.4.3. Inoculación del hongo en el sustrato preparado.

Los sustratos se llevaron a la autoclave a 121 °C con 15 PSI durante 30 minutos para esterilizarlos. Por lo cual, se procedió a aplicar la metodología explicada por Ardón (2007) utilizando 1 g de semilla, que fueron introducidos en un tubo de ensayo con 9 ml de agua de triptona a una concentración de 0.1% homogeneizada en un vórtex por 2 minutos.

A continuación, se prepararon diluciones seriadas con 1 ml de la dilución para descargarla en 9 ml de agua de triptona al 0.1% de 10^{-1} de donde posteriormente se tomó 1 ml de esta dilución para volver a descargarla en otro tubo de ensayo con 9 ml de agua destilada. Este paso se repitió sucesivamente hasta lograr una dilución de 10^{-4} de donde se tomó 1 ml para cada repetición. Consecuentemente, se verificó la humedad para cada tratamiento (entre 60% y 70%) por medio de la termobalanza. Finalmente se realizó la incubación de los tratamientos en función de los niveles de temperatura: 20 °C y 30 °C durante 14 días (Ver Anexo 2).

3.4.3.1. Fase de invasión y fructificación.

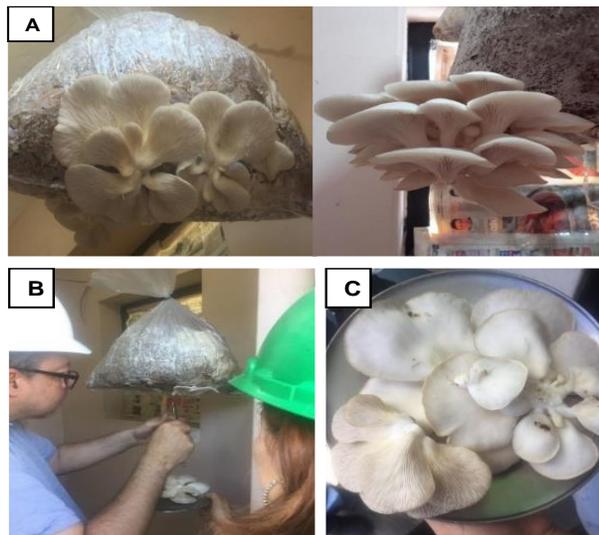
Los tratamientos se replicaron a mayor escala con las condiciones adecuadas para su crecimiento, 1 kg de sustrato y con la inoculación con 25 g de semilla para así dejar que este llegue a la etapa de fructificación conforme a las especificaciones de Palacios et al. (2020). Previamente el área de trabajo fue esterilizada con hipoclorito de sodio, con dimensiones de 3 m x 3 m x 3 m; este lugar, contaba con ventanas; mismas que fueron selladas con papel periódico.

3.4.4. Cosecha del hongo.

El hongo una vez llegado a la etapa de fructificación fue cortado y llevado a pesaje para cada uno de los tratamientos evaluados. A continuación, la figura 10 describe la cosecha del hongo:

Figura 10

Cosecha del hongo ostra



Nota: A) Fructificación; B) Cosecha; y C): Pesaje en fresco del hongo cosechado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la investigación “Evaluación de dos sustratos para la producción de *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. en el Ingenio Azucarero del Norte”.

4.1. Características fisicoquímicas de la materia prima: bagazo y cachaza

Para la caracterización de las muestras de bagazo y cachaza, se aplicaron los análisis físico-químicos de: humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra bruta y carbohidratos; que se realizaron en los laboratorios del Ingenio Azucarero del Norte; dichos resultados se detallan en la tabla 11.

Tabla 11

Características de las materias primas utilizadas en los sustratos.

Parámetro	Unidad	Resultados		Método
		Bagazo	Cachaza	
Humedad	%	10.10	2.10	AOAC 930.15
Cenizas	%	7.05	2.30	AOAC 923.03
Proteína	%	2.84	1.90	AOAC 955.39
Extracto etéreo	%	1.18	0.80	AOAC 920.85
Fibra bruta	%	36.08	42.40	AOAC 978.10
Carbohidratos	%	26.27	92.90	(Morales, 2011)

Conforme a los resultados que se presentan en la tabla 11, se puede observar que las dos materias primas, presentan diferencias en su composición; puesto que, el bagazo de caña resultó poseer valores más altos con respecto a: humedad 10.10%, cenizas 7.05%, proteína 2.84% y extracto etéreo 1.18%; a diferencia de la cachaza que logró obtener 2.10% en humedad, 2.30% cenizas, 1.90% proteína y 0.80% en extracto etéreo.

Sin embargo, para los parámetros fibra bruta y carbohidratos, la cachaza presentó valores de 42.40% y 92.90% respectivamente; situación que fue diferente para el bagazo, ya que alcanzó 36.05% en fibra bruta y 26.27% en carbohidratos, valores menores a los de la cachaza. Estos resultados, fueron favorables para la presente investigación ya que proporcionaron información acerca de la composición nutricional de los sustratos.

En cuanto a los valores obtenidos en el bagazo de caña, estos se asemejan a los descritos por Yáñez (2013) quien utilizó este desecho industrial para dietas en cuyes y presentó los siguientes valores: proteína 3%, cenizas 7.3%, fibra cruda 38.02%, grasa 1.2% y carbohidratos 25.8%.

Mientras que, para la cachaza, existió cierta variación entre los resultados obtenidos durante esta investigación y los que expone Riveras (2016) para la alimentación de ganado, que consta de los siguientes porcentajes: 1.83% proteína, 1.54% fibra, 1.18% extracto etéreo, 1.53% cenizas y 17.09% carbohidratos. Cabe recalcar, que estos valores pueden variar entre los consultados por los autores anteriormente citados en función del tipo de suelo, fertilización, variedad utilizada y otros factores externos que influyen sobre las características bromatológicas del cultivo Lagos y Castro (2019).

4.2. Variables de respuesta evaluadas

4.2.1. Variable de respuesta: tiempo de corrida del hongo ostra.

El tiempo de corrida del hongo fue determinado mediante observaciones diarias hasta 7 días después de la inoculación, donde se evidenció el crecimiento algodonoso y blanquecino del hongo; dichos resultados se analizaron y detallaron a continuación en la tabla 12:

Tabla 12

Análisis de varianza del tiempo de corrida del hongo ostra

Efectos	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Value	
A: Sustratos	45,38	1	45.38	217.8	<0.0001	**
B: Temperatura	0.38	1	0.38	1.8	0.1984	ns
C: Humedad	18.38	1	18.38	88.2	<0.0001	**
AB	0.04	1	0.04	0.2	0.6607	ns
AC	0.04	1	0.04	0.2	0.6607	ns
BC	0.38	1	0.38	1.8	0.1984	ns
ABC	0.04	1	0.04	0.2	0.6607	ns
Error	3.33	16	0.21			

Nota: GL: Grados de libertad, **: alta significancia, *: significativo, ns: no significativo.

Los valores-p son inferiores a $\alpha = 0.05$; por lo cual se consideran activos, dichos valores permiten interpretar la operación del proceso; así como el mejor tratamiento. Los valores-p que son menores, representaron un mayor grado de influencia sobre la variable de tiempo de corrida.

El análisis, permitió determinar que el factor A (Sustratos), y el factor C (Humedad), poseen un fuerte efecto sobre el crecimiento del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* P. Kumm.).

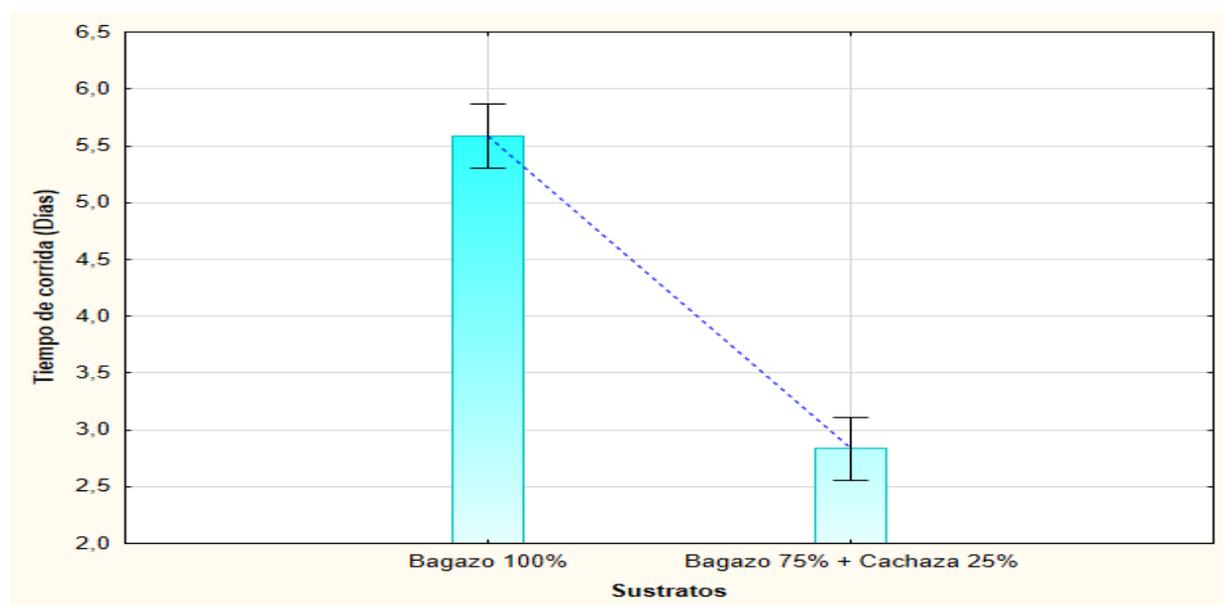
4.2.1.1. Efectos principales de los factores sobre el tiempo de corrida del hongo

ostra

Según López et al. (2008) el tiempo de corrida o los días a la colonización del sustrato, aluden al tiempo que toma el hongo para colonizar el sustrato; este se diferencia por el cambio de color del medio donde se cultivó. En la figura 11, se observa que el tiempo de corrida del hongo ostra, en el sustrato de Bagazo 75% + Cachaza 25% fue menor en comparación con el sustrato a base de Bagazo 100%, donde se notó una mayor cantidad de días a la colonización.

Figura 11

Efecto del tiempo de corrida del hongo ostra en función de los sustratos.



En la presente investigación el tiempo de corrida evidenciado se determinó alrededor del día 3, desde la inoculación en el sustrato: bagazo 75% + cachaza 25% entre tanto, con el bagazo al 100% como sustrato, la colonización se dio en un promedio cercano a los 6 días desde la inoculación. Resultados que difieren con otros autores como Aguinaga (2012) quien especifica

que, por lo general, el tiempo de colonización en bloques de cultivo suele durar entre 20 a 30 días, para esta especie.

Por otra parte, estos resultados podrían equipararse con los obtenidos por Romero et al. (2018) quienes especifican haber determinado una duración de 10 días para el crecimiento del micelio *P. ostreatus* P. Kumm. cepa CP-50, en cajas Petri con sustratos a base de: paja de trigo, paja de cebada, pajilla de frijol, alfalfa deshidratada y rastrojo de maíz.

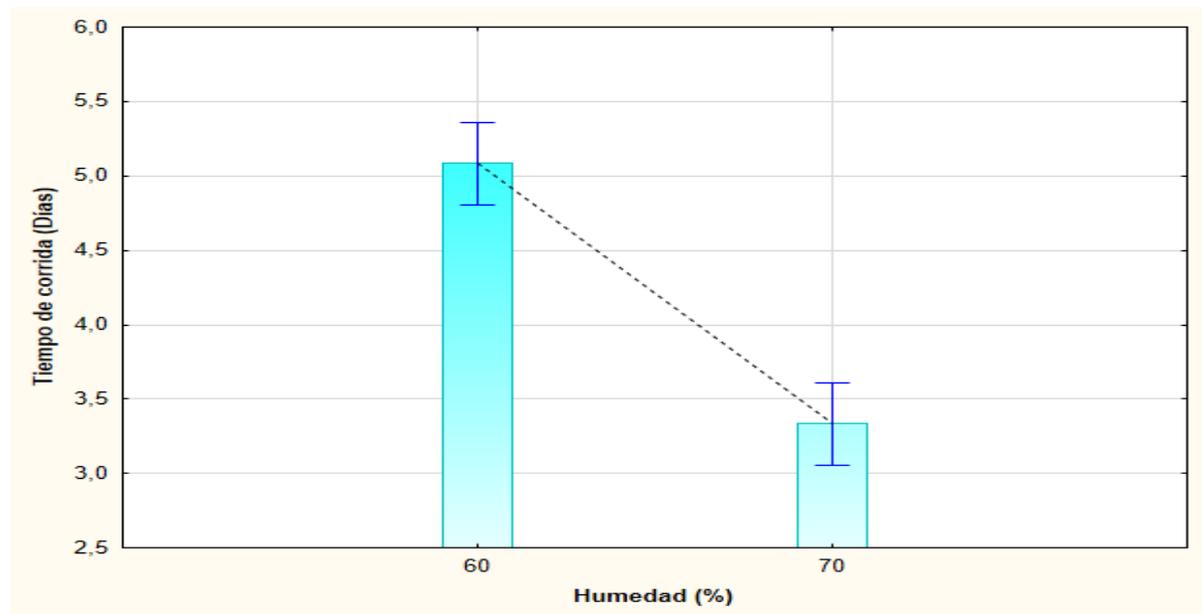
Mientras que, Ferri et al. (2015), evidenciaron el inicio de la colonización a partir del quinto día de inoculación en *Pleurotus sajor-caju* con restos de papel cartón revestidos con PET (20 g), suplementados con bagazo de yuca (1 g) y salvado de soja (0.2 g) y, con una adición de soluciones minerales en frascos de vidrio de 0.5 l.

En cuanto a la composición, López (2020) expone que, la colonización del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. requiere de materiales que posean altos niveles de carbohidratos solubles y hemicelulosa. Lo que definiría las diferencias halladas durante la colonización en las cajas Petri, puesto que, el bagazo de caña contiene 31.1% de hemicelulosa según Lagos y Castro (2019); y la cachaza, 21% de sacarosa aproximadamente, en su composición Castro et. al. (2021).

A continuación en la figura 12, se observan los días a la colonización del hongo ostra en función de la humedad del sustrato:

Figura 12

Efecto de los días a la colonización del hongo ostra en función de la humedad.



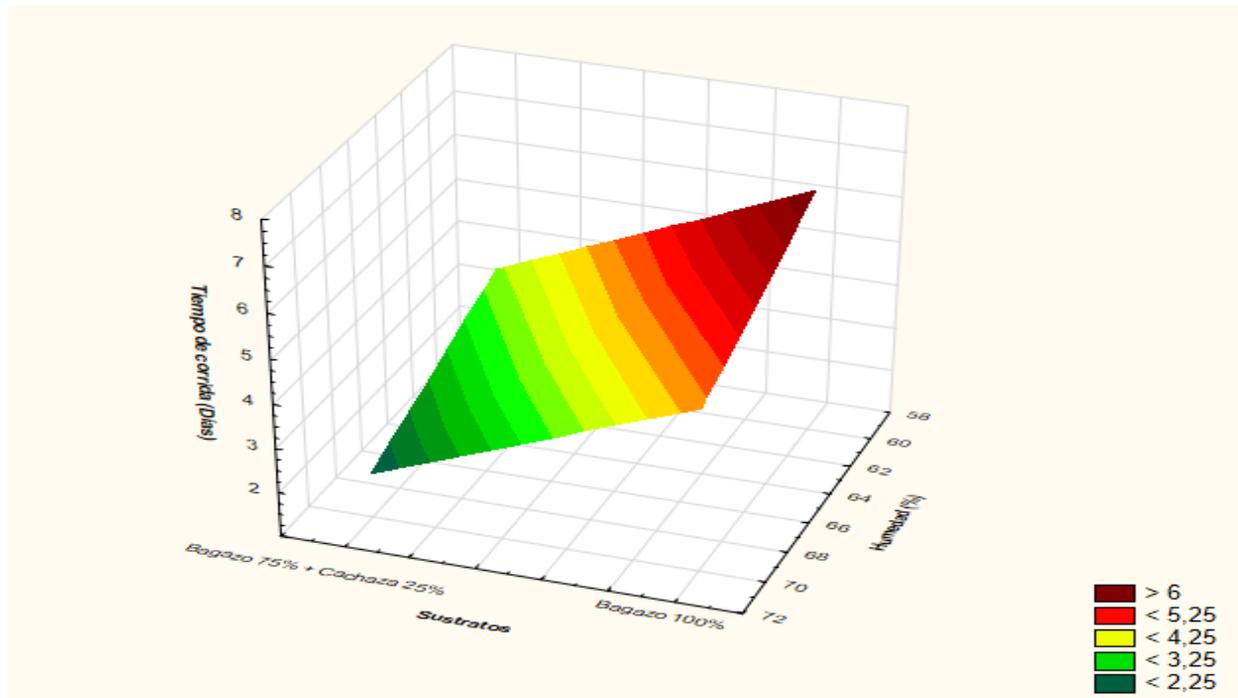
Se puede observar en la figura una divergencia clara entre las medias obtenidas, puesto que, en el manejo de humedad con el 60%, se mostró un mayor tiempo para el cambio de color en el sustrato (tiempo de corrida) con 5.08 días; hecho que fue distinto para la humedad al 70%, que mostró un lapso promedio de 3.33 días. Resultados que, concuerdan con lo manifestado por Aguinaga (2012) y Pineda et al. (2014) quienes, explican que, *P. ostreatus* P. Kumm. requiere de una humedad en el sustrato del 70 al 80% para la colonización; hecho que sustentaría los resultados obtenidos en esta variable.

Pineda et al. (2014) expresan que las humedades bajas pueden provocar una menor eficiencia en el uso de agua a nivel estructural del hongo, por lo que influye de forma directa sobre su desarrollo.

En la figura 13, se presenta la gráfica de superficie de respuesta para el hongo ostra, donde se muestra el efecto que poseen los factores: humedad y sustratos, en función del tiempo de corrida:

Figura 13

Superficie de respuesta correspondiente a los días a la colonización del hongo ostra en función del sustrato y la humedad.



Mediante los colores se aprecia el incremento paulatino de los días a la colonización o tiempo de corrida, a medida que interactúan estos factores; siendo el color vino el valor más alto con más de 6 días; mientras que, la menor cantidad de días a la colonización determinadas por el color verde oscuro representó a los valores menores que 2.25 días.

Conforme a estos resultados, el mejor tratamiento para esta variable se obtiene cuando se trabaja con Bagazo 75% + Cachaza 25% como sustrato y 70 % de humedad, ya que se generó un lapso promedio de 6.5 días a la colonización en el sustrato.

En la tabla 13, se encuentra el análisis de Tukey realizado en hongos ostra para el tiempo de corrida:

Tabla 13

Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable tiempo de corrida del hongo.

Tratamientos	Media	Rango
T8	2	d
T6	2	d
T5	3.33	c
T7	4	bc
T4	4.67	b
T2	4.67	b
T1	6.33	a
T3	6.67	a

La tabla demuestra que los tratamientos son distintos, ya que estos se representan por letras minúsculas; en lo referente a T8 (2) y T6 (2), pertenecen al grupo “d”; entre tanto, T5 (3.33) y T7 (4) pertenecen al grupo “c”; no obstante, T7 (4), T4 (4.67), y T2 (4.67) pertenecen a la agrupación “b”; y finalmente en el grupo “a” están T1 y T3 con 6.33 y 6.67 días a la colonización, respectivamente.

4.2.2. Variable de respuesta: crecimiento del hongo.

El crecimiento del hongo se determinó hasta los 14 días después de la inoculación, a través de la intensidad de blanco determinada con el software Matlab y las fotografías obtenidas

de cada placa; estos resultados posteriormente fueron convertidos a porcentaje para analizarlos y detallarlos a continuación en la tabla 14:

Tabla 14

Análisis de varianza del crecimiento del hongo ostra

Efectos	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Value	
A: Sustratos	7134.63	1	7134.63	685.38	<0,0001	**
B: Temperatura	0.0041	1	0.0041	0.0004	0.9844	ns
C: Humedad	2963.2	1	2963.2	284.66	<0.0001	**
AB	1.97	1	1.97	0.19	0.669	ns
AC	2576.41	1	2576.41	247.5	<0.0001	**
BC	6.04	1	6.04	0.58	0.4573	ns
ABC	1.92	1	1.92	0.18	0.6732	ns
Error	166.56	16	10.41			

Nota: GL: Grados de libertad, **: alta significancia, *: significativo, ns: no significativo.

Los valores-p son menores a $\alpha = 0.05$; por lo cual se consideran activos, los cuales permiten interpretar como opera el proceso y también, el mejor tratamiento. Además, los valores-p que son menores, significa que poseen un mayor grado de influencia sobre la variable crecimiento del hongo ostra.

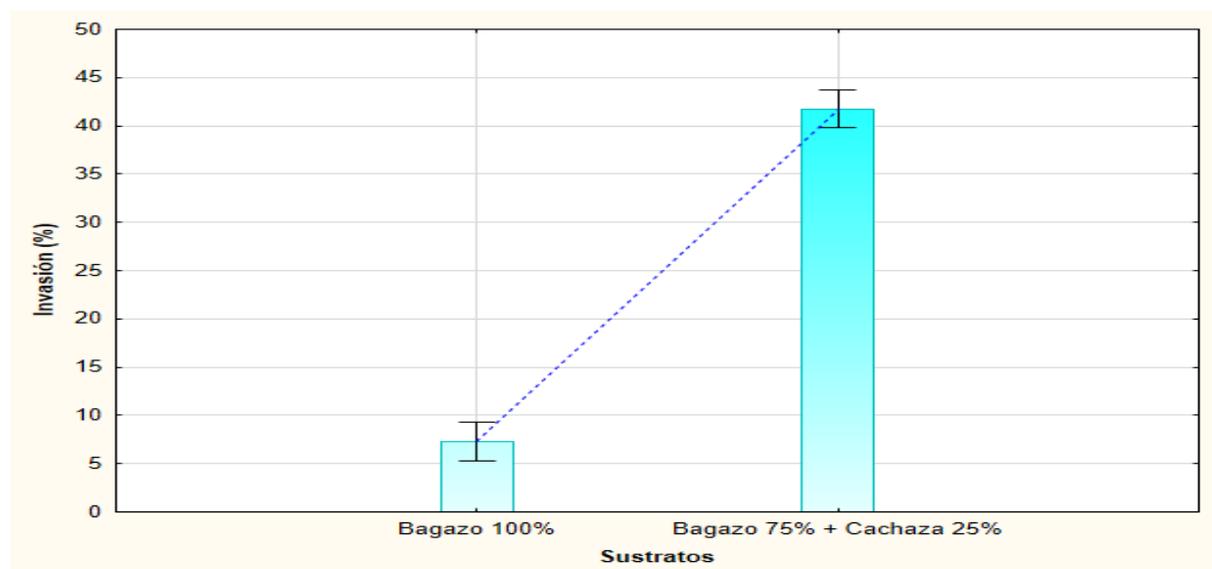
El análisis, permitió determinar que el factor A (Sustratos), el factor C (Humedad) y la interacción A*C (Sustratos y Humedad) poseen un fuerte efecto sobre el crecimiento del hongo ostra *Pleurotus ostreatus* P. Kumm.

4.2.2.1. Efectos principales de los factores sobre el crecimiento del hongo ostra

En la figura 14, se observa que el crecimiento del hongo ostra, en el sustrato de Bagazo 75% + Cachaza 25% fue mayor en comparación con el sustrato a base de Bagazo 100%, donde se notó un porcentaje de invasión bastante bajo.

Figura 14

Efecto del crecimiento del hongo ostra en función de los sustratos.



El porcentaje de invasión obtenido para el sustrato con bagazo al 100% fue de 7.3%; mientras que, en el caso del sustrato con Bagazo 75% + Cachaza 25%, se obtuvo 41.78%, lo que demostró una diferencia marcada entre los sustratos.

Sin embargo, Vargas et al. (2012) han determinado una invasión del 86.33% de *P. ostreatus* P. Kumm. en los bloques de 2 kg con un sustrato que contenía 75% bagazo de caña y 25% hojarasca de roble a los 16 días de inoculación.

Conforme a lo expresado por Díaz et al. (2019) el hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm.; es bastante demandante en cuanto a material lignocelulósico; ya que, obtiene los nutrientes que requiere a través de la secreción de enzimas en el sustrato donde lleva a cabo su desarrollo. De tal manera que, tanto el contenido de lignina como de celulosa, tienen un rol relevante, ya que, son la fuente directa de carbono para el hongo. Además, estos autores agregan que, el bagazo de caña de azúcar puede contener 36% de celulosa y 9% de lignina.

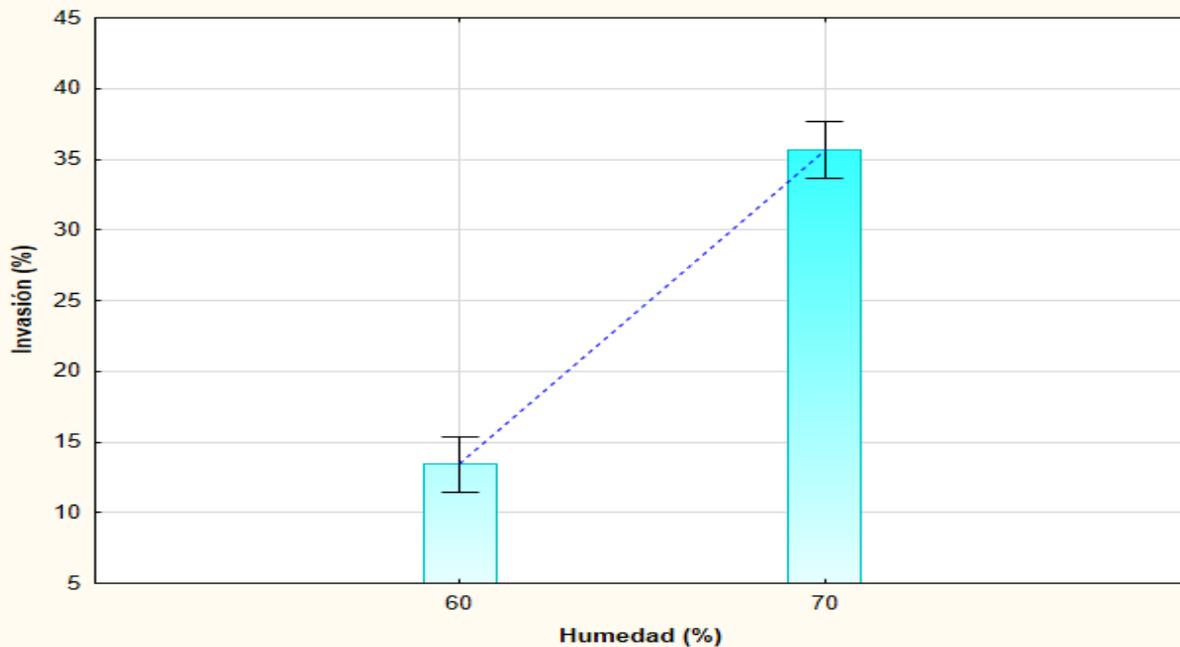
No obstante, estos contenidos de celulosa y lignina pueden haber sido una limitante para el tratamiento con bagazo al 100% ya que, para que se produzca la descomposición de estos elementos, se requiere de una relación C/N adecuada. Sánchez et al. (2007) determinaron una relación C/N de 30 en sustratos a base de bagazo de caña.

Por lo cual, se sugiere que al utilizar el sustrato de Bagazo 75% + Cachaza 25%, en esta investigación, se logró reducir la relación C/N del bagazo de caña por la adición de nitrógeno de la cachaza, ya que esta contiene 2.2% de Nitrógeno total en su composición Pérez et. al. (2011). Lo que permitió una mejor mineralización de la materia orgánica del bagazo, y a su vez una mayor disposición de nutrientes para el hongo.

A continuación, la figura 15 alude al efecto del crecimiento del hongo ostra en función de la humedad del sustrato:

Figura 15

Efecto del crecimiento del hongo ostra en función de la humedad.



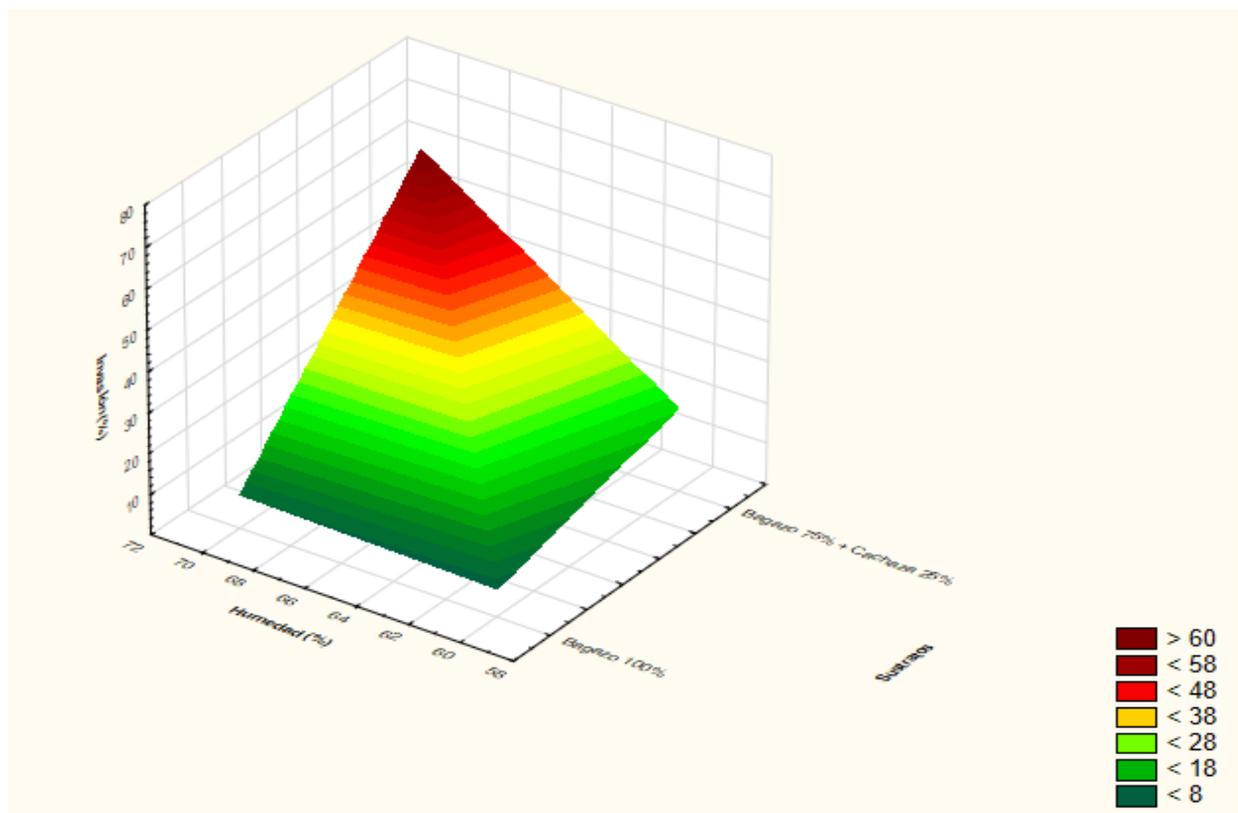
Durante la presente investigación, pudo evidenciarse diferencias entre los niveles de humedad; al 60% con 13.43% y al 70% con 35.65% de invasión en la caja Petri. Este resultado, concuerda con García et al. (2014), quienes en su estudio basado en el aprovechamiento de residuos de origen orgánico determinaron que, la humedad superior al 70% es beneficiosa para la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. puesto que permite una mejor invasión del micelio.

Esto, según Ortiz et al. (2020) ocurre debido a que, la humedad en alto porcentaje permite la metabolización del hongo por una disponibilidad de nutrientes más efectiva, ya que es importante para la formación del agua metabólica que tiende a incrementarse posteriormente en la formación de la capa micelial impermeable (Bonilla, 2017).

La figura 16, presenta la gráfica de superficie de respuesta para el hongo (*Pleurotus ostreatus* P. Kumm.), donde se expone el efecto que poseen los factores: sustratos y humedad en función del crecimiento del hongo:

Figura 16

Superficie de respuesta correspondiente al crecimiento del hongo ostra en función del sustrato y la humedad.



En la presente figura mediante la cromática de colores se aprecia el incremento constante del crecimiento a medida que interactúan dichos factores, siendo el color vino el valor más alto con más de 60% de invasión. Mientras que, la menor cantidad de área ocupada por el micelio

está determinada por el color verde oscuro que representa los valores menores que 8% de invasión.

Conforme a estos resultados, el mejor tratamiento para esta investigación se obtiene cuando se trabaja con Bagazo 75% + Cachaza 25% como sustrato y 70% de humedad ya que se logró una invasión del 63.26%.

En la tabla 15, se encuentra el análisis de Tukey realizado en hongos ostra para el crecimiento del hongo:

Tabla 15

Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable crecimiento del hongo.

Tratamientos	Media	Rango
T8	63.75	a
T6	62.76	a
T5	20.37	b
T7	20.26	b
T2	8.54	c
T3	7.63	c
T4	7.57	c
T1	5.46	c

La tabla muestra que los tratamientos son diferentes, ya que estos se representan por letras distintas, en lo referente a T8 y T6 pertenece al grupo “a” con 63.75% y 62.76%; T5 y T7 por su parte, pertenece al grupo “b” con 20.37% y 20.26%. Finalmente, el grupo más amplio fue “c” representado por T2 (8.54%), T3 (7.63%), T4 (7.57%) y T1 (5.46%).

4.2.3. Variable de respuesta: Eficiencia biológica.

La eficiencia biológica del hongo se obtuvo mediante; el peso del sustrato en seco, el peso de la primera cosecha de hongos frescos y el peso total del bloque, todos estos valores expresados en kilogramos; los resultados se reemplazaron en la Fórmula 7, para posteriormente analizarlos y detallarlos a continuación en la tabla 16:

Tabla 16

Análisis de varianza de la eficiencia biológica del hongo ostra

Efectos	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Value	
A: Sustratos	1456.96	1	1456.96	410.34	<0,0001	**
B: Temperatura	0.47	1	0.47	0.13	0.7214	ns
C: Humedad	239.79	1	239.79	67.54	<0.0001	**
AB	0.86	1	0.86	0.24	0.6301	ns
AC	79.01	1	79.01	22.25	0.0002	*
BC	1.01	1	1.01	0.28	0.6009	ns
ABC	0.2	1	0.2	0.06	0.8173	ns
Error	56.81	16	3.55			

Nota: GL: Grados de libertad, **: alta significancia, *: significativo, ns: no significativo.

Los valores-p son menores a $\alpha = 0.05$; por lo cual se considera que se encuentran activos; estos permiten interpretar el proceso de operación y también, el mejor tratamiento. Dichos valores demuestran que, poseen un mayor grado de influencia sobre la variable eficiencia biológica del hongo ostra.

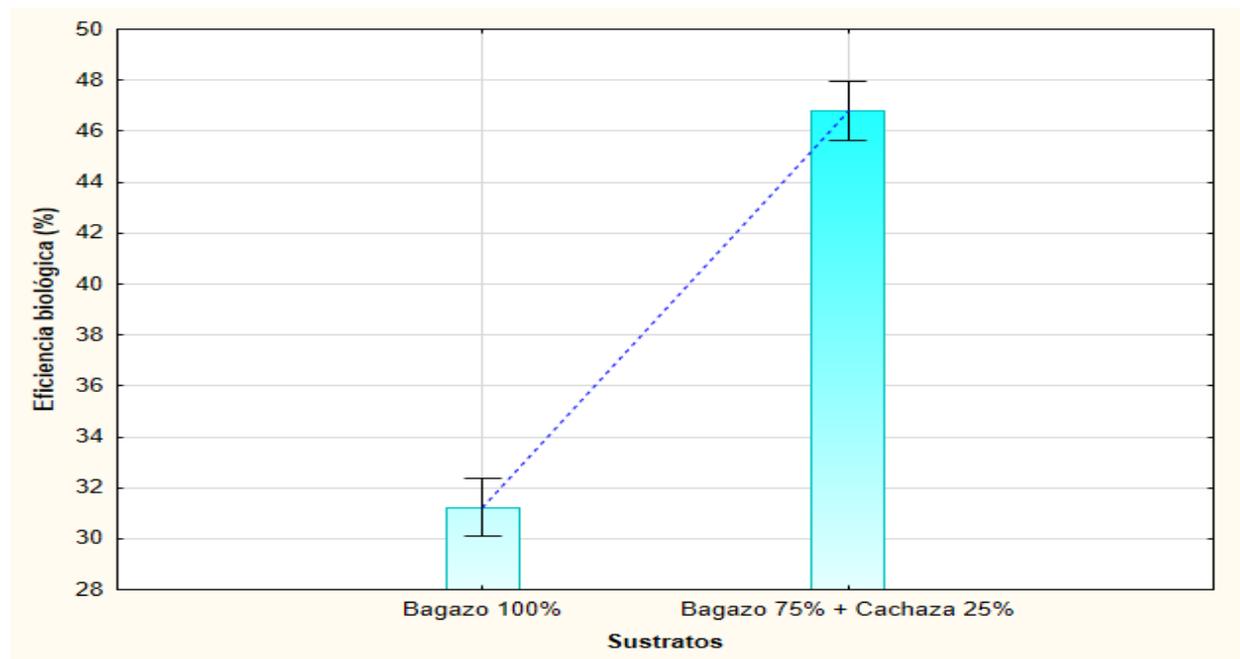
El análisis, permitió determinar que el factor A (Sustratos), el factor C (Humedad), y la interacción A x C (Sustratos y Humedad) poseen un fuerte efecto sobre la eficiencia biológica del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* P. Kumm.)

4.2.3.1. Efectos principales de los factores sobre la eficiencia del hongo ostra

La eficiencia biológica, es un indicador que permite determinar el potencial biológico que posee un sustrato para producir hongos conforme a Díaz y Carvajal (2014). Por lo cual en la figura 17, a continuación, se presentan los resultados obtenidos con respecto a la eficiencia biológica de la primera cosecha en función de los sustratos:

Figura 17

Efecto de la eficiencia biológica del hongo ostra en función de los sustratos.



En la eficiencia biológica del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. se mostró un valor mucho mayor en el sustrato de Bagazo 75% + Cachaza 25% (46.81%) frente a Bagazo 100% (31.23%).

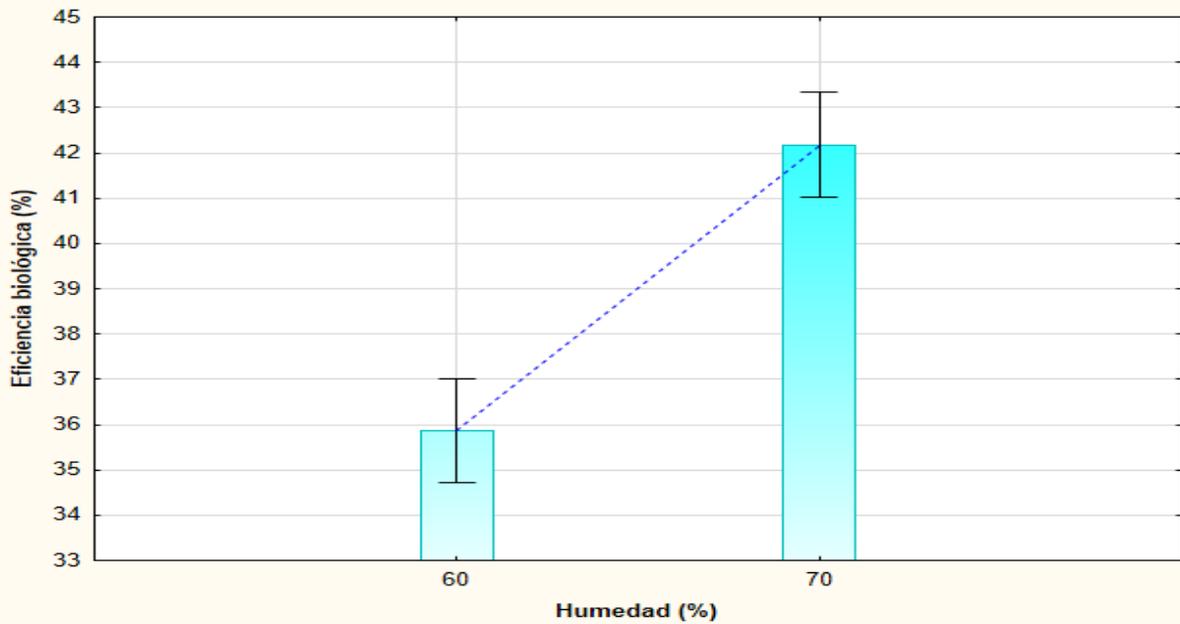
Estos resultados son comparables a los obtenidos por otros autores como, Aguinaga (2012) quien al utilizar bagazo de caña evidenció un 39.70% de eficiencia biológica durante el primer ciclo de *P. ostreatus* P. Kumm. Sin embargo, Sánchez y Royse (2001); Adedokun y Akuma (2013); y han registrado porcentajes de EB cercanos a 66%, mediante el uso del residuo principal de este estudio. Aunque también se ha obtenido una eficiencia biológica de 50% en la primera cosecha (Lavado, 2021).

Ruilova et al. (2020) especifican que el hongo *P. ostreatus* P. Kumm. requiere de concentraciones de nitrógeno en su sustrato que estén dentro de un rango de 0.6 a 1.5% para lograr una eficiencia biológica ideal y la proteína necesaria en la composición del hongo. Por lo cual, los tratamientos en donde se añadió la cachaza, se mostró una mejor EB; esto se sustenta en lo manifestado por Castro et al. (2021), quienes expresaron, en su estudio que, la cachaza es rica en nitrógeno con 0.45 g/l y fósforo con 0.34 g/l.

Para la variable eficiencia biológica del hongo ostra en función de la humedad se presenta la figura 18, a continuación:

Figura 18

Efecto de la eficiencia biológica del hongo ostra en función de la humedad.



En cuanto a esta variable, se pudo determinar también una variación amplia entre la humedad del sustrato al 60% que reflejó una eficiencia biológica de 35.86% frente al 70% de humedad que obtuvo un 42.18% en EB. Maccapa (2021) estableció una eficiencia biológica de 79.6% a 86.8% manejando una humedad entre 60% a 70% en el cultivo de *P. ostreatus* P. Kumm., aunque Díaz et al. (2019) han determinado una EB de 16.77% en bagazo de caña al 65% de humedad en el sustrato.

No obstante, la eficiencia biológica obtenida al 70% en esta investigación se encuentra dentro de los parámetros mínimos equivalentes para la producción comercial de hongos comestibles, conforme a lo mencionado por Ríos et al. (2010), quienes explican que esta debe ser mayor al 40%.

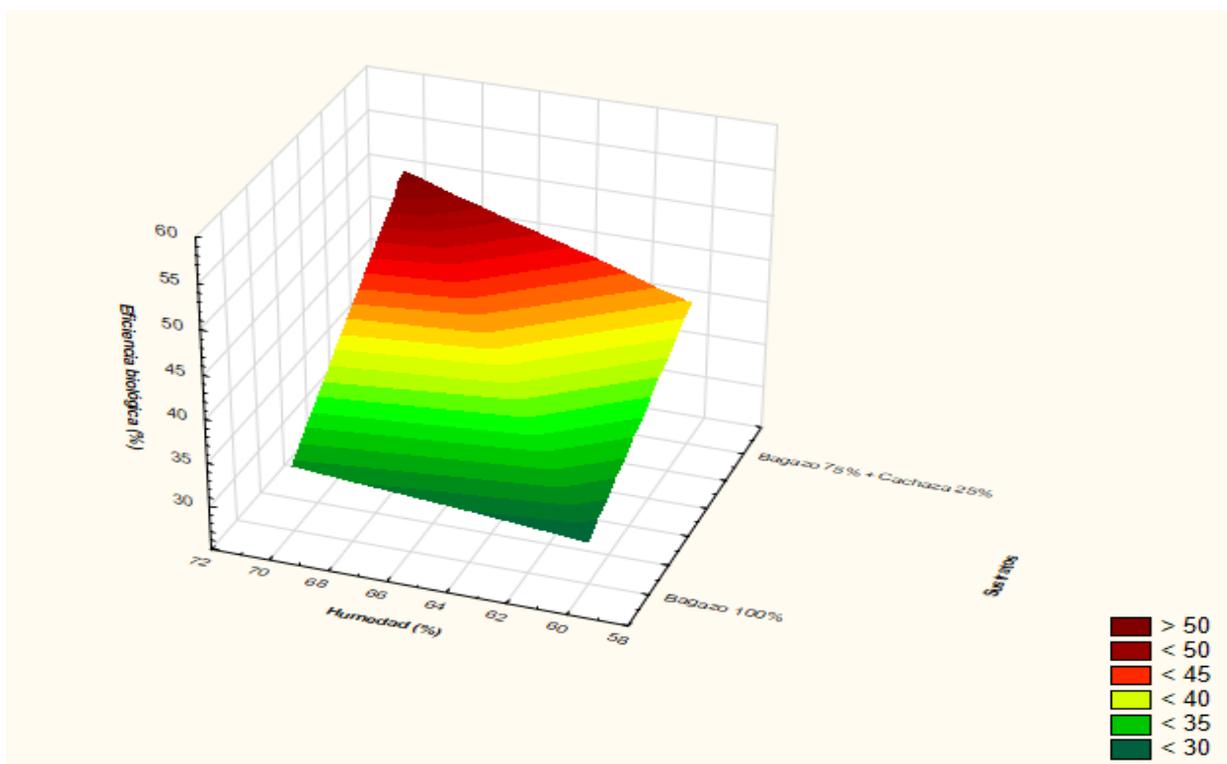
Pineda et al. (2014) expresan que la humedad también depende del material que se utilice como base para el sustrato, puesto que no todos los residuos agrícolas poseen la misma capacidad para retenerla; aunque también especifican que la humedad del sustrato es esencial

para la aparición de los primordios, por lo cual esta debe encontrarse entre 60% a 80% para el hongo *P. ostreatus* P. Kumm. Aunque otros autores sugieren rangos entre 70% a 80% Cruz et. al. (2010).

La figura 19, muestra la gráfica de superficie de respuesta para el hongo (*Pleutorus ostreatus* P. Kumm.), que evidencia el efecto que poseen los factores: sustratos y humedad en función de la eficiencia biológica del hongo

Figura 19

Superficie de respuesta correspondiente a la eficiencia biológica del hongo ostra en función del sustrato y la humedad.



A través de los diferentes colores se aprecian las diferencias en la EB a medida que interactúan los factores en mención, siendo el color vino la representación de los valores con más de 50% de EB. Mientras que, la coloración verde oscura alude a la eficiencia biológica con valores menores que 30%. En base a estos resultados se obtuvo que, el mejor tratamiento para esta variable fue donde se utilizó el Bagazo 75% + Cachaza 25% como sustrato y 70% de humedad, puesto que se logró una EB del 51.79%.

En la tabla 17, se encuentra el análisis de Tukey realizado en hongos ostra para la variable eficiencia biológica:

Tabla 17

Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable eficiencia biológica

Tratamientos	Media	Rango
T8	52.41	a
T6	51.17	a
T7	41.87	b
T5	41.81	b
T4	32.64	c
T2	32.51	c
T1	30.05	c
T3	29.72	c

Se observa que los tratamientos son diferentes, ya que estos se representan por letras en minúscula, de tal forma que el primer grupo “a”, está conformado por a T8 (52.41%) y T6 (51.17%). Mientras que en el grupo “b”, se situaron T7 y T5 con 41.87% y 41.81%. Finalmente, el grupo con más tratamientos fue el “c” con T4 (32.64%), T2 (32.51%), T1 (30.05%) y T3 (29.72%).

4.2.4. Variable de respuesta: Tasa de productividad.

La tasa de productividad del hongo se obtuvo entre la eficiencia biológica y el número de días del proceso hasta la primera cosecha, dichos valores se expresaron en kilogramos. Medina y Fernández (2021) manifiestan que este parámetro puede indicar el potencial productivo por día de un hongo cultivado; los resultados de la ecuación 8, fueron analizados y se presentan a continuación en la tabla 18:

Tabla 18

Análisis de varianza de la tasa de productividad del hongo ostra

Efectos	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Value	
A: Sustratos	2.07	1	2.07	646.07	<0.0001	**
B: Temperatura	0.09	1	0.09	26.99	0.0001	*
C: Humedad	0.39	1	0.39	121.3	<0.0001	**
AB	0.09	1	0.09	29.38	0.0001	*
AC	0.14	1	0,14	42.32	<0.0001	**
BC	0.003	1	0.003	0.93	0.3491	ns
ABC	0.00067	1	0.00067	0.21	0.6549	ns
Error	0,05	16	0.0032			

Nota: GL: Grados de libertad, **: alta significancia, *: significativo, ns: no significativo.

Los valores-p son menores a $\alpha = 0.05$; por lo cual se considera que se encuentran activos; estos permiten interpretar el proceso de operación y también, el mejor tratamiento. Dichos valores demuestran que, poseen un mayor grado de influencia sobre la variable tasa de productividad del hongo ostra. El análisis, permitió determinar que el factor A (Sustratos), el factor B (Temperatura), el factor C (Humedad) y las interacciones A*B (Sustratos y

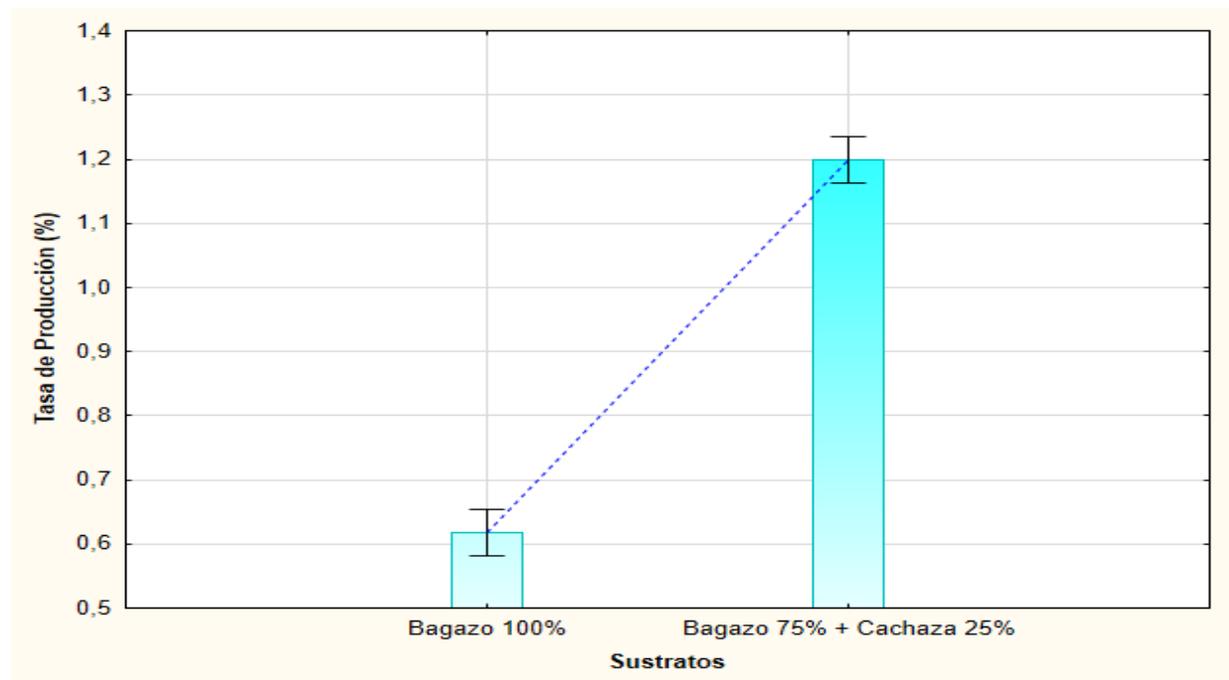
Temperatura), A*C (Sustratos y Humedad), poseen un fuerte efecto sobre la tasa de productividad del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* P. Kumm.)

4.2.4.1. Efectos principales de los factores sobre la tasa de productividad del hongo ostra

En la figura 20, que se expone a continuación, se presentan los resultados obtenidos con respecto a la eficiencia biológica de la primera cosecha en función de los sustratos:

Figura 20

Efecto de la tasa de productividad del hongo ostra en función de los sustratos.



En la tasa de productividad del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm. se mostró un valor mucho mayor en el sustrato de Bagazo 75% + Cachaza 25% (1.2%) frente a Bagazo 100% (0.61%). La tasa de productividad obtenida, es superior a la obtenida por Olivera et. al. (2018) en

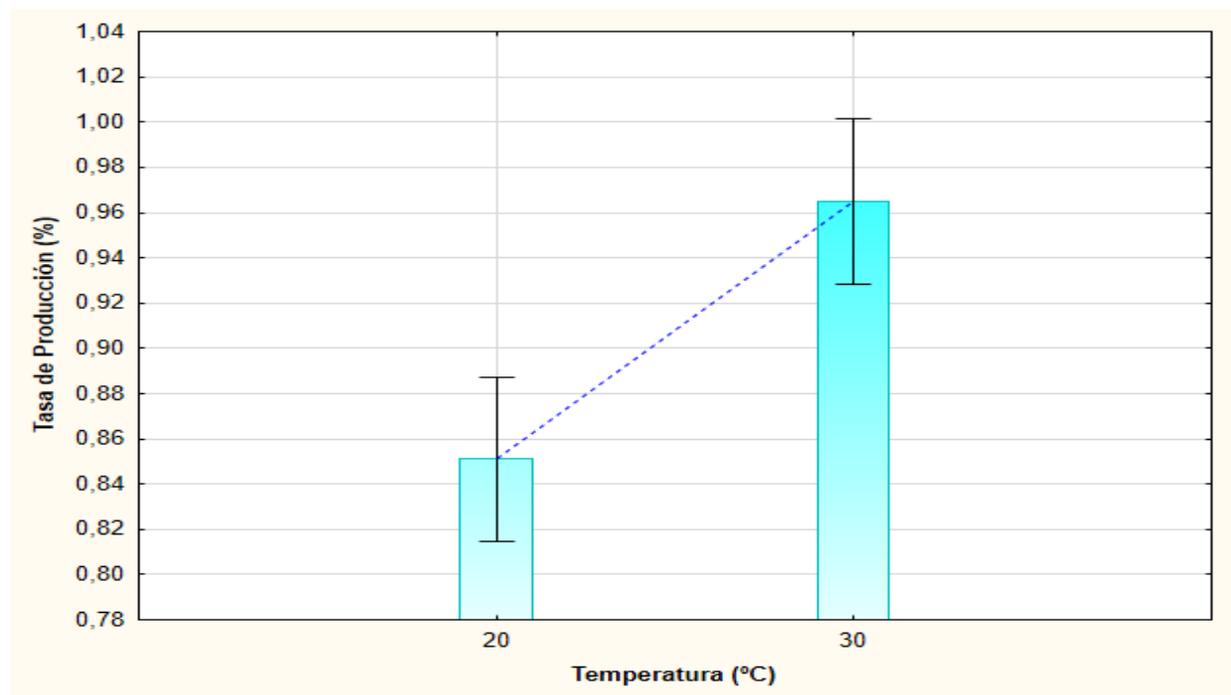
sus tres cosechas de *P. ostreatus* P. Kumm. que fue de 0.13% a 0.25% en residuos de caña de azúcar y similar a la que Abril (2022) logró, con 0.64% con bagazo de caña al 100%.

Sánchez y Royse (2001) mencionan que la tasa de productividad es el indicador que muestra el potencial productivo diario que posee el hongo cultivado, luego de su inoculación.

En la figura 21, se visualiza el efecto de la tasa de productividad del hongo ostra en función de la temperatura del sustrato:

Figura 21

Efecto de la tasa de productividad del hongo ostra en función de la temperatura.



Para el desarrollo de esta variable, se vio implicada una ligera diferencia entre la tasa de productividad a 20 °C con 0.84% frente a la temperatura de 30 °C que se ubicó en 0.96%. Estos porcentajes son mayores a los obtenidos por Abril (2022) quien, describió una tasa de 0.64% con

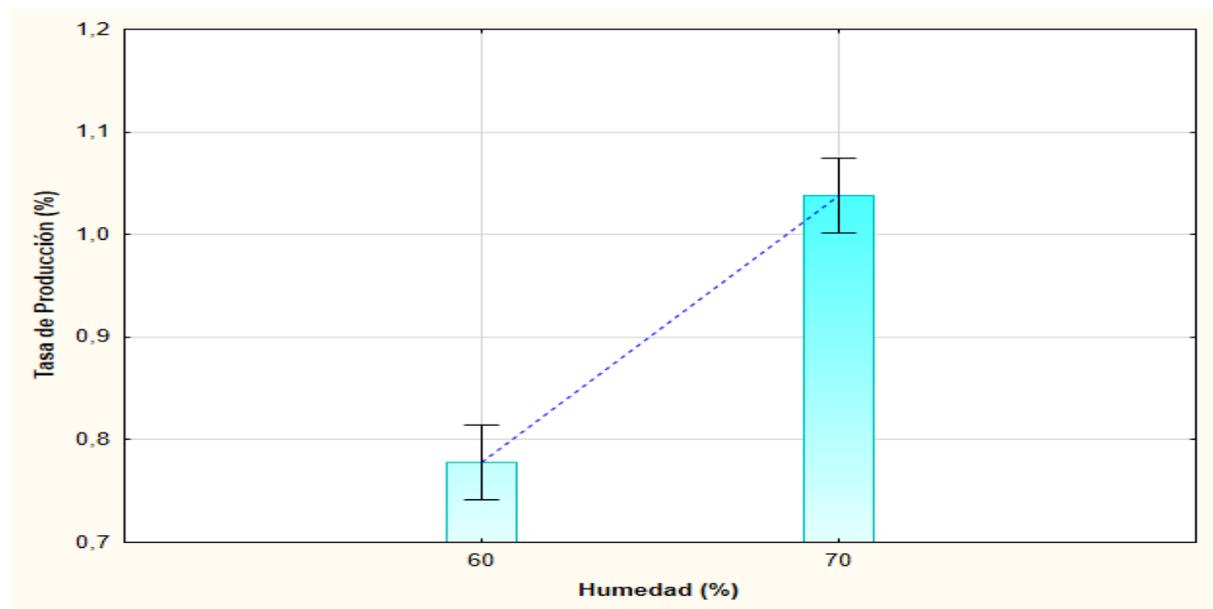
bagazo de caña al 100%. Aunque, Valencia (2007) logró una TP con valores comprendidos entre 0.48% y 1.38% una temperatura de 28 °C en *P. ostreatus* P. Kumm.

Gbolagade et al. (2006) han descrito que las temperaturas entre 25 °C y 30 °C, son óptimas para la producción de biomasa y exopolisacáridos en hongos basidiomicetes, lo que concuerda con lo descrito por Pineda et. al. (2014); aunque Apaza (2017) menciona que los hongos del género *Pleurotus* tienen como rango óptimo para la fructificación valores entre 20 a 25 °C. Pineda et al. (2014), aluden una estrecha relación entre la temperatura y la intensidad lumínica, siendo esta última la que permite la evolución del cuerpo fructífero; en el caso de *P. ostreatus* P. Kumm. se ha situado un requerimiento promedio de 900 lux.

A continuación, en la figura 22, se expone el comportamiento de la tasa de productividad en función de la humedad del sustrato:

Figura 22

Efecto de la tasa de productividad del hongo ostra en función de la humedad.



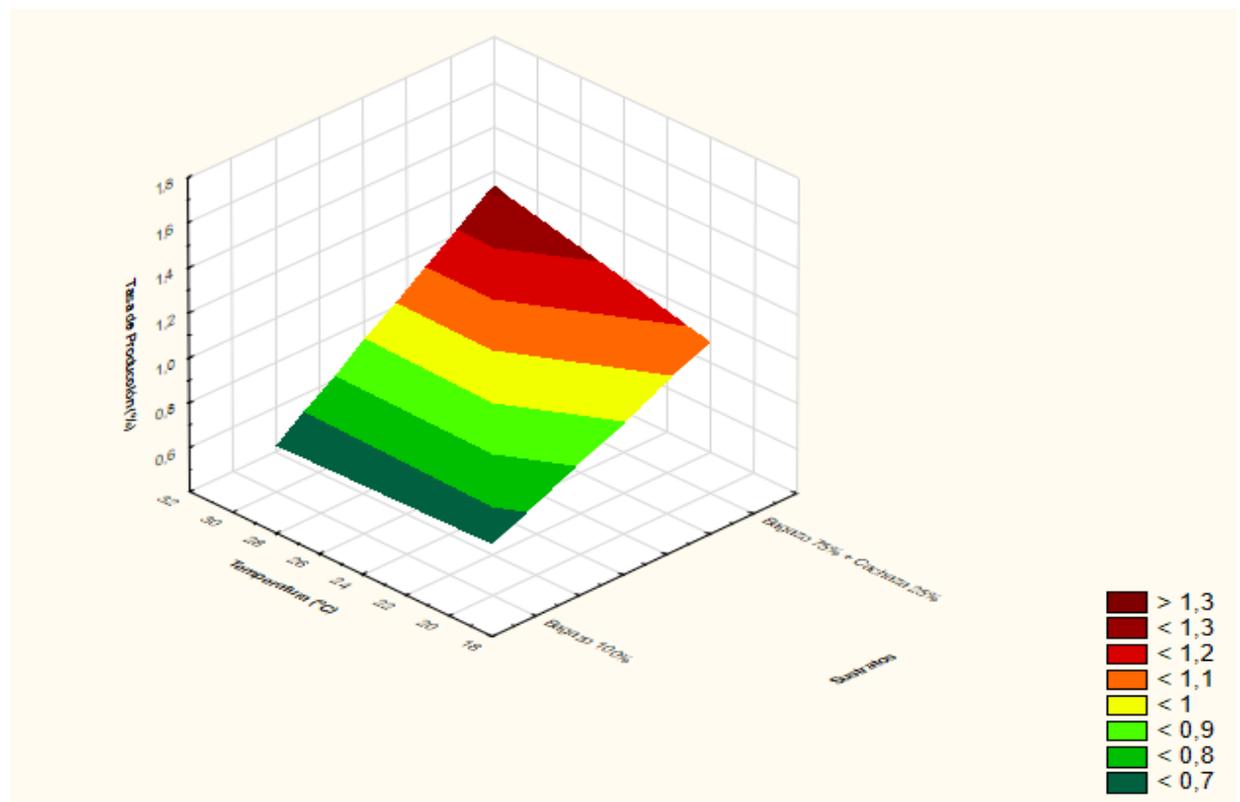
Para la tasa de productividad en función de los porcentajes de humedad, al sustrato al 70% de humedad demostró una tasa superior, ya que generó el 1.03% de productividad, a diferencia de la humedad al 60% que logró solamente 0.78%. En *P. ostreatus* P. Kumm. se ha hallado una tasa de productividad de 0,83% (Córdova, 2021) hasta de 2.04% con una humedad del 70% en sustrato, por Portilla et al. (2019), por lo cual la TP se encuentra dentro de estos valores reportados.

Pineda et al. (2014) especifican que el nivel de humedad en el sustrato para este tipo de hongos es recomendado entre 60 a 80% para que se produzca la fermentación sólida. Sin embargo, Díaz et. al. (2019) manifiestan que lo óptimo es mantenerla entre 60 y 70%. Saputera et al. (2020) por su parte, así como Vallejo et al. (2017) explican que, la formación de los cuerpos fructíferos depende de la humedad existente en el sustrato para ganar peso, puesto que naturalmente los hongos poseen entre 87 a 93% de humedad debido al manejo del cultivo.

La figura 23, muestra la gráfica de superficie de respuesta para el hongo (*Pleutorus ostreatus* P. Kumm.), que evidencia el efecto que ejercen los factores: sustratos y temperatura en función de la tasa de productividad del hongo:

Figura 23

Superficie de respuesta correspondiente a la tasa de productividad del hongo ostra en función del sustrato y la temperatura.

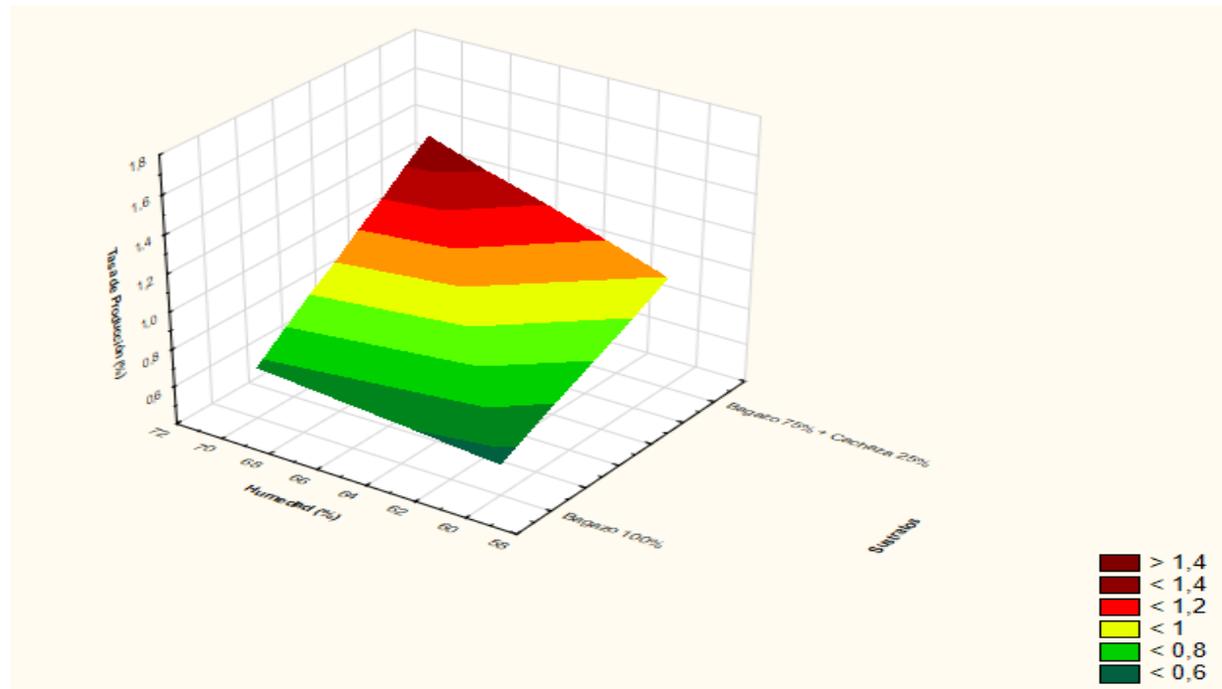


Por medio de los diferentes colores se aprecian las diferencias en la tasa de productividad a medida que estos interactúan siendo el color vino intenso el representante de los valores mayores que 1.3%. Mientras que, la coloración verde oscura alude a la eficiencia biológica con valores menores que 0.7%. En función de estos resultados se obtuvo que, el mejor tratamiento para esta variable fue donde se utilizó el Bagazo 75% + Cachaza 25% como sustrato y 30 °C de temperatura con una tasa de productividad de 1.32%.

La figura 24, presenta la gráfica de superficie de respuesta para el hongo (*Pleurotus ostreatus* P. Kumm.), donde se muestra el efecto que ejercen los factores: sustratos y humedad en función de la tasa de productividad del hongo:

Figura 24

Superficie de respuesta correspondiente a la tasa de productividad del hongo ostra en función del sustrato y la humedad.



Mediante la gama de colores se aprecian los distintos porcentajes a medida que los factores interactúan; el color vino intenso es la representación de los valores mayores que 1.4%. Mientras que, la coloración verde oscura refleja los porcentajes menores que 0.6%.

Con respecto a estos resultados se determinó que, el mejor tratamiento para esta variable fue la utilización del Bagazo 75% + Cachaza 25% como sustrato y 70% de humedad con una tasa de productividad de 1.4%. En la tabla 19, se visualiza el análisis de Tukey realizado en hongos ostra para la tasa de productividad:

Tabla 19

Pruebas de significación de Tukey para los tratamientos de la variable tasa de productividad.

Tratamientos	Media	Rango
T8	1.54	a
T6	1.26	b
T7	1.1	b
T5	0.89	c
T2	0.68	d
T4	0.67	d
T1	0.57	d
T3	0.55	d

Nota: la presente tabla muestra la distribución de los rangos de las medias obtenidas en los diferentes tratamientos mediante la prueba de Tukey para la variable tasa de productividad.

En esta tabla se muestra que en el grupo “a”, se encuentra T8 (1.54%), mientras que en el grupo “b” están T6 (1.26%) y T7 (1.10%). A continuación, el grupo “c” con T5 (0.89%), entre tanto la agrupación “d” agrupó a T2 (0.68%), T4 (0.67%), T1 (0.57%) y T3 (0.55%).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó que la existencia de un alto contenido de carbohidratos 26.27% y 92.90% con niveles de proteína del 2.84% y 1.90% son fundamentales en el desarrollo del hongo ostra, puesto que lo dotan de energía y proteína para el crecimiento del hongo ostra.

Los sustratos y la humedad ejercieron efecto positivo sobre el tiempo de corrida y el crecimiento del hongo ostra; puesto que, con el 70% de humedad en el sustrato de Bagazo + cachaza 75/25, la colonización promedio fue de 2 días. Mientras que, el porcentaje de invasión del hongo en el área de las cajas petri a los 14 días se situó en 63.26%.

Se determinó que los mejores resultados se obtuvieron con la mezcla del sustrato: bagazo 75% + cachaza 25% a 30 °C con 70% de humedad.

Los sustratos utilizados demostraron ser eficientes para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* P. Kumm.

5.2. Recomendaciones

Realizar análisis físico-químicos; puesto que, los niveles de los parámetros evaluados pueden variar en función del lugar, tipo de suelo, variedad u otros factores.

Además es necesario implementar un análisis de costo/beneficio ya que ayudaría a identificar la viabilidad de este tipo de proyecto.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. (2022). *Producción del hongo ostra Pleurotus ostreatus a partir de residuos de café (Coffea arábica) provincia del Azuay, cantón Santa Isabel comunidad Guayra*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11213>.
- Adedokun, O., & Akuma, A. (2013). Maximizing Agricultural Residues: Nutritional Properties of Straw Mushroom on Maize Husk, Waste Cotton and Plantain Leaves. *Natural Resources*, 4(8), 534-537. <https://doi.org/10.4236/nr.2013.48064>
- Aguinaga, P. (2012). *Evaluación de cuatro sustratos para la producción del hongo ostra (Pleurotus ostreatus) en tres ciclos de producción en la zona de Tambillo, provincia de Pichincha*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional de la Escuela Politécnica Nacional <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4663/1/CD-4295.pdf>.
- Apaza, K. (2017). *Producción del hongo comestible Pleurotus djamor (Fr.) Boedijn usando distintos sustratos de residuos agrícolas aisaldo en Tingo María*. [Tesis pregrado, Universidad de Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1361/KJAG_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Ardón, C. (2007). *La producción de los hongos comestibles*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional Universidad de San Carlos de Guatemala http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/07/07_1932.pdf.
- Armadata, P. (2019). *Las partes del hongo y su morfología*. Leux ediciones investigativas.
- Arreola, J., Palma, D., Salgado, S., Camacho, W., Obrador, J., Juárez, J., & Pastrana, L. (2004). Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 351-357.
- Arteta, X. (2021). *Producción del hongo ostra en forma alternativa a su medio tradicional*. Active ediciones investigativas agrícolas.
- Ballesteros, L. (2019). *Sistemas de producción de hongos*. Límite ediciones educativas.
- Barriga, S. (2018). *El origen de la caña de azúcar y su desarrollo histórico*. Mónaco ediciones educativas.
- Barrionuevo, A. (2020). *La producción de Pleurotus ostreatus*. Iron ediciones investigativas.
- Bonilla, E. (2017). *Incremento de la eficiencia biológica de Pleurotus pulmonarius (Fr.) Qué, mediante el uso de residuos agropecuarios locales en Pitalito-Huila*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Insitucional de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/17605/7708303.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Carrizo, F. (2020). *Estudio sobre la producción de sustratos*. Atlantis ediciones investigativas.
- Castro, V., Rodríguez, D., & Vega, C. (2021). Bioprecipitación inducida con cachaza de caña de azúcar como mecanismo potenciador para el mejoramiento estructural de bloques de tierra comprimida. *Revista EIA*, 18(35), 1-20. <https://doi.org/10.24050/reia>
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. (2015). *Utilización de subproductos de la caña de azúcar y de la industria alcohólica ecuatoriana para uso en la fertilización en los cultivos de caña*. CINCAE publicaciones.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. (2020). *Indicadores de producción del Ecuador*. CINCAE publicaciones.
- Cevallos, F. (2018). *Manejo y producción de hongos ostras*. Redondo publicaciones científicas.
- Cigarra, B. (2018). *El manejo de los sistemas de gestión ambientales sobre residuos de la caña*. ESPOL publicaciones.
- Córdova, M. (2021). *Productividad del hongo comestible Pleurotus ostreatus en sustrato de café y determinación del valor nutricional*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana Cayetano Heredia https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9066/Productividad_CordovaAlberca_Mercy.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Corporación Financiera Nacional. (2021). *Cultivo de caña de azúcar. Elaboración y refinado de azúcar de caña y melaza de caña; remolacha azucarera, etc. Venta al por mayor de azúcar, chocolate y productos de confitería*. Corporación Financiera Nacional.

- Cruz, D., Capa, D., Maza, D., Ojeda, R., & Benítez, A. (2020). Producción y valor proteico de *Pleurotus ostreatus* en la región sur de Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12(2), 34-43. <https://doi.org/10.18272/aci.v12i2.1806>
- Cruz, D., López de León, E., Pascual, L., & Batlaglia, M. (2010). Guía técnica de producción de hongos comestibles de la especie *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 104(3), 139-154.
- Díaz, C., & Carvajal, E. (2014). Eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en fibra de palma de aceite. *Alimentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 12(1), 63-70.
- Díaz, K., Casanova, M., León, C., Gil, L., Bardales, C., & Cabos, J. (2019). Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa*, 26(3), 1177-1184.
<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26322>
- Fernández, M. (2022). Determinación de las necesidades de aprendizaje de los médicos del Plan Turquino en la provincia de Cienfuegos. *Investigación Pedagógica*, 4, 1.
- Ferri, G., Hermann, K., Wisbeck, E., Souza, C., & Tavares, L. (2015). Evaluación de la influencia de los factores físicos y nutricionales en la propagación del micelio de *Pleurotus sajor caju* CCB-019 en biomasa residual de embalaje de alimentos. *UDESC*, 1(1).
- Galarza, N. (2017). *Composición morfológica del bagazo*. Atenea ediciones investigativas.

- García, L., Duque, A., Padilla, L., & González, L. (2014). Residuos orgánicos domésticos como sustrato para la producción de hongos *Pleurotus ostreatus*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(2), 1194-1196.
- Gbolagade, J., Sobowale, A., & Adejoye, D. (2006). Optimization of sub-merged culture conditions for biomass production in *Pleurotus florida* (mont.) Singer, a Nigerian edible fungus. *Afr J Biotechnol* 5, 5(16), 1464-1469.
- Jácome, V. (2019). *Reproducción de los hongos*. Sistema de educación Llorente.
- Lagos, E., & Castro, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3), 917-934.
<https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>
- Lastra, T. (2019). *El manejo de sustratos en formación de hongos*. Palermo ediciones investigativas.
- Lavado, L. (2021). *Producción de hongos (Pleurotus ostreatus) en sustratos: coronta de choclo, bagazo de caña, ichu y aserrín de madera*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle
<https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14039/6874/TESIS%20-%20LAVADO%20TINTAYA%20LUCIA%20ODELIA%20-%20FAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Lopera, J., Ramírez, C., Zuluaga, M., & Ortiz, J. (2010). El método analítico como método natural. *Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 1, 25.
- López, C., Hernández, R., Suárez, C., & Borrero, M. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del Departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 128-137.
- López, E. (2020). *Producción de hongos ostra (Pleurotus ostreatus) usando como sustrato residuos de corteza de eucalipto ricos en lignina producidos por la empresa NOVOPAN*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24837/1/T-ESPE-044537.pdf>
- Maccapa, L. (2021). *Producción de hongo ostra (Pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kumm) sobre residuos lignocelulósicos en la provincia de Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno]. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Madero, S. (2020). *Estudio de control y manejo de los sustratos*. Lima - Perú: Metro ediciones investigativas.
- Medina, E., & Fernández, R. (2021). *Evaluación técnica y determinación de costos de un fructificador a pequeña escala de Pleurotus ostreatus como potencial emprendimiento en Quito, Ecuador*. [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/09d575b0-87a1-41d3-a248-cb45ceca36b6/content>.

- Mena, E. (2021). *Información del Ingenio Azucarero del Norte*. UCG publicaciones.
- Mónaco, G. (2019). *Estudio comparativo sobre los sustratos*. Minereals ediciones investigativas.
- Morales, A. (2011). *Elaboración de fideos fritos enriquecidos con harina de quinua (Chenopodium quinoa) y espinaca (Spinacia oleracea)*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica del Norte <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/505>
- Olivera, A., Aranda, E., Ortega, E., Díaz, P., & Mendoza, G. (2018). Producción de hongo *Pleurotus ostreatus* en residuos de maíz, frijol y caña de azúcar. *Ataméxico*, 11(5).
- Ortiz, J., Mejía, Y., González, D., García, L., & Cifuentes, X. (2020). Alternativa de biorremediación a partir de residuos de cacao en la obtención de hongos *Pleurotus ostreatus* con la implementación de un análisis multicriterio. *Revista ION*, 33(1).
- Oviedo, J., Casas, A., Valencia, J., & García, L. (2016). Evaluación de Tres Variables de Crecimiento del *Pleurotus pulmonarius* sobre Tusa de Maíz Empleando Procesamiento Digital de Imágenes. *Información tecnológica*, 27(5), 27. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000500004>
- Palacios, V., Flores, A., & Contreras, M. (2020). *Guía para el cultivo de hongos comestibles. Hongo seta y shitake*. ONU Programa para el Medio Ambiente.

- Palma, J. (04 de Mayo de 2015). *Engormix*. Subproductos de la caña de azúcar:
<https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/subproductos-cana-azucar-t32177.htm>
- Pastrano, M. (2019). *El manejo del bagazo y la cachaza*. Atlas ediciones investigativas.
- Pellerano, E. (2019). *Composición química del bagazo*. Matreox ediciones investigativas.
- Pérez, M., Sánchez, R., Palma, D., & Salgado, S. (2011). Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el Sureste de México. *Interciencia*, 36(1), 45-52.
- Pierre, J. (2018). *Composición química de la caña de azúcar*. Metro ediciones investigativas.
- Pineda, J., Ramos, L., & Soto, C. (2014). Producción de *Pleurotus ostreatus* por fermentación en estado sólido: una revisión. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(2), 13-23.
- Portilla, A., Romero, O., Valencia, M., Hernández, M., Lanteta, G., & Rivera, J. (2019). Determinación de los parámetros de productividad de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. opuntiae* cultivadas en paja de trigo y pencas de maguey combinadas con sustratos agrícolas. *Scientia Fungorum*, 49, 216. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1216>
- Pozo, S. (2017). *Diseño de una planta de extracción de cera proveniente de la cachaza de la industria azucarera de la zona I*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica del Norte
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7772>.

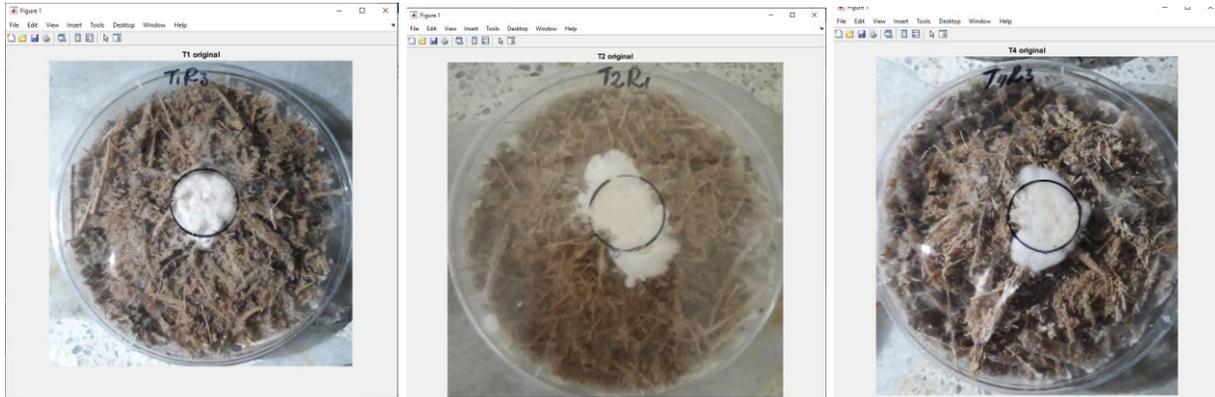
- Proaño, V. (2019). *El uso alternativo del bagazo*. Límite publicaciones investigativas.
- Restrepo, D. (2018). *Manejo y usos alternativos de la cachaza*. Imperio ediciones investigativas.
- Reyes, E., Reyes, C., & Escobedo, L. (2017). *Manual de producción de setas- El gran fruto*. Grupo HOND'DEXI.
- Ríos, M., Hoyos, J., & Mosquera, S. (2010). Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Scielo*, 12(86-94), 8.
- Riveras, M. (2016). *Aprovechamiento de subproductos de la caña panelera en la alimentación animal*. Bogotá: FEDEPANELA.
- Romero, O., Valencia, M., Rivera, J., Tello, I., Espino, O., & Damián, M. (2018). Capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando alfalfa deshidratada como suplemento en diferentes sustratos agrícolas. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(2), 145-160.
- Ruilova, M., Martínez, E., Reyes, W., & Cobos, F. (2020). Evaluación de la productividad del Hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado por fermentación sólida, en residuos agrícolas típicos de la provincia Bolívar-Ecuador. *Journal of Science and Rsearch*, 5, 254-266.
- Sánchez, F., & Royse, D. (2001). *La biología y el cultivo de Pleurotus spp.* Colegio La Frontera Sur.
- Sánchez, J., & Royse, D. (2001). La biología y el cultivo de *Pleurotus spp.* *Limusa*, 168-170.
<https://doi.org/968-18-6357-7>

- Sánchez, R., Ordaz, C., Benedicto, V., Palma, L., & Sánchez, B. (2007). Chemical characteristic of several vermicompost in Mexico. *Compost Science & Utilization*, 15(1), 47-52.
<https://doi.org/10.1080/1065657X.2007.10702310>
- Saputera, A., Sofyan, A., Saputra, R., & Sari, N. (2020). Effect of watering frequency on the Growth and Yield of Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, 4(2), 155-160. <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v4i2.91>
- Torres, X. (2019). *Formación y producción del azúcar*. Premier ediciones investigativas.
- Trujillo, F. (2019). *La producción azucarera mundial y su efecto social*. Prometeo ediciones investigativas.
- Ulloa, A. (2019). *Producción alternativa de sistemas agrícolas en función del bagazo*. Valencia - España: Alcántara ediciones educativas.
- Valencia, G. (2007). *Producción de inóculo líquido para el cultivo de Pleurotus spp.* Instituto Politécnico Nacional. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Institucional del Instituto Politécnico Nacional
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/595/tesisfinal240807lety.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vallejo, C., Ocampo, R., Morales, W., Vera, J., & Cortéz, T. (2017). Calidad alimenticia del hongo *Pleurotus ostreatus*, fresco y deshidratado, cultivado en tres residuos agrícolas. *ESPAM Ciencia*, 8(2), 51-59.

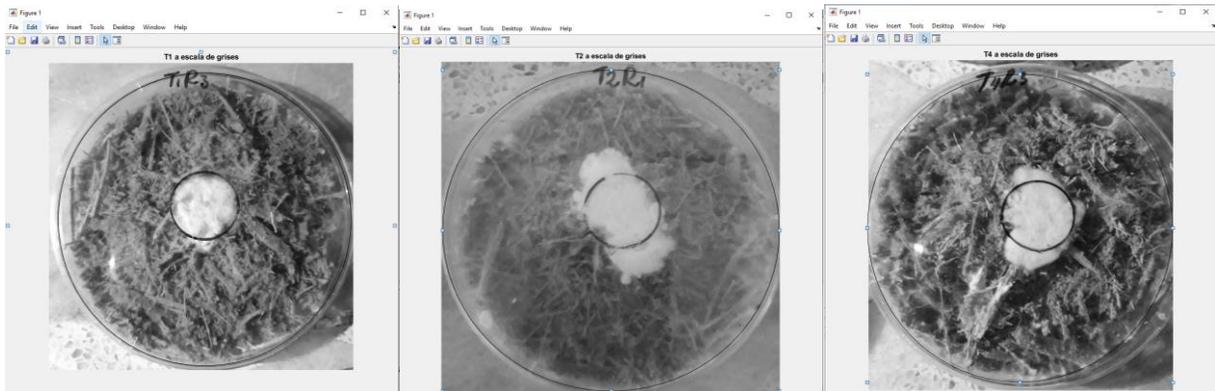
- Vargas, P. (2018). *La composición de la cachaza y sus diferentes usos*. Asoex ediciones investigativas.
- Vargas, P., Hoyos, J., & Mosquera, S. (2012). Uso de hojarasca de roble y bagazo de caña en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 136-145.
- Yáñez, M. (2013). *Evaluación de dietas con tres niveles de bagazo de caña de azúcar para engorde de cuyes en Ilactayo grande, cantón Latacunga*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Cotopaxi <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1636>.
- Yara. (2022). *Yara Ecuador*. Las exigencias de los mercados de la caña de azúcar: <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cana-de-azucar/mercados-para-el-azucar/>

ANEXOS

Anexo 1. Transformación de imágenes a través del software MATLAB para la determinación de los pixeles blancos.

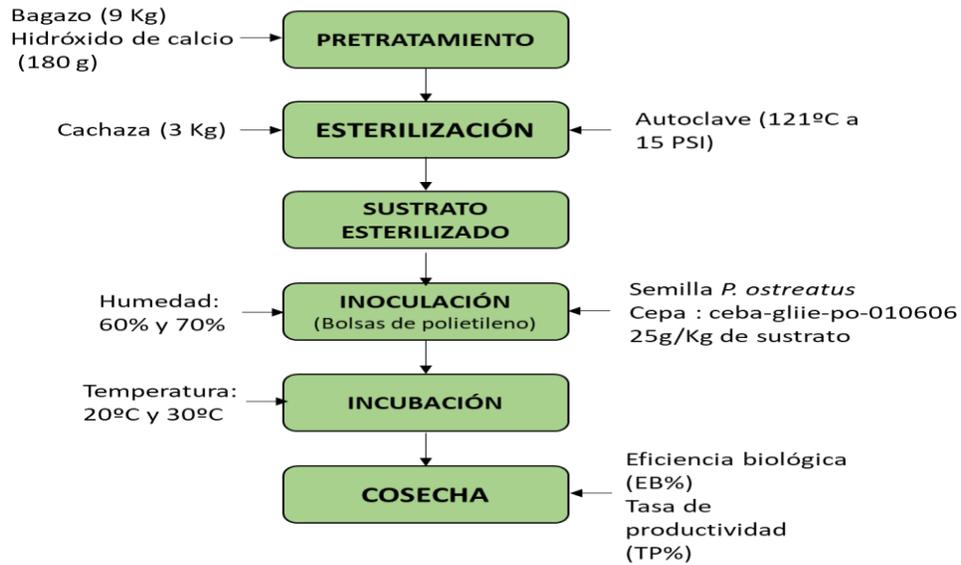


i. Imágenes originales de los tratamientos: T1R3, T2R1 y T4R3.

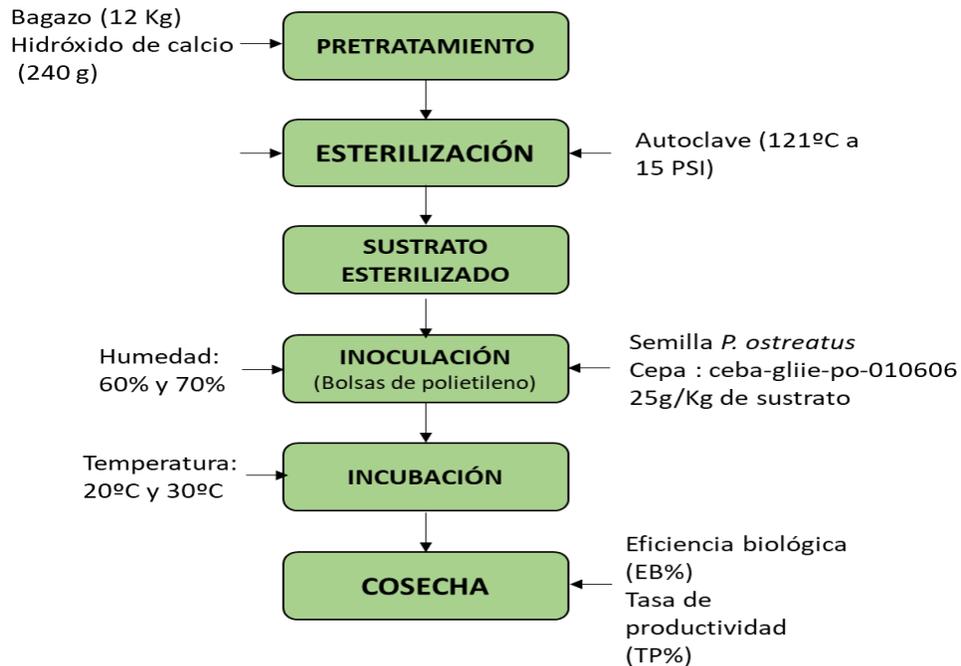


ii. Imágenes transformadas a escala de grises de los tratamientos: T1R3, T2R1 y T4R3.

Anexo 2. Metodología aplicada a nivel de laboratorio y a escala comercial.



i. Diagrama de flujo de la producción de hongos ostra a escala comercial: Bagazo al 75% + Cachaza al 25%.

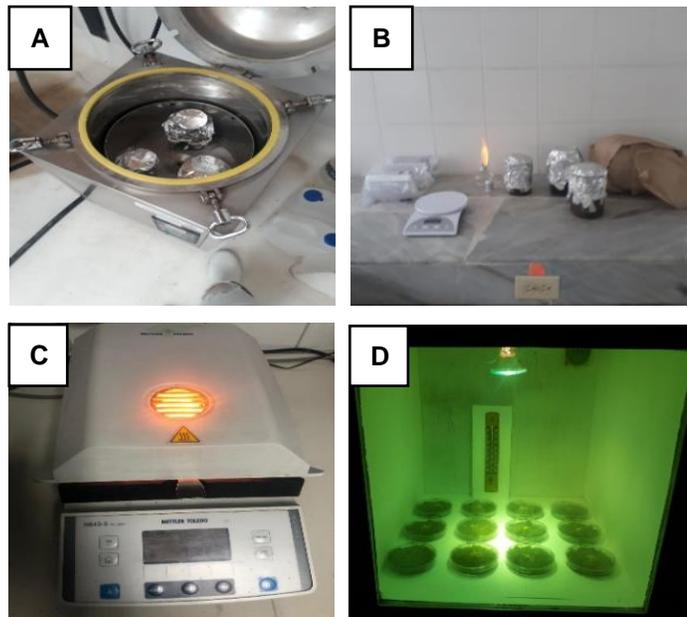


ii. Diagrama de flujo de la producción de hongos ostra a escala comercial: Bagazo al 100%.

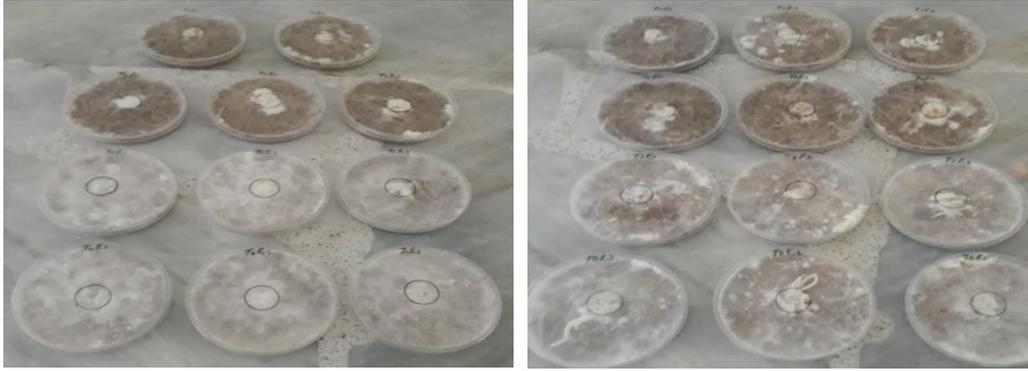
Anexo 3. Metodología aplicada a nivel de laboratorio y a escala comercial.



- i. Pesaje de los materiales para la preparación del sustrato.



- ii. Proceso de esterilización e incubación de sustratos: A) Esterilización en el autoclave; B) Distribución de sustratos; C) Medición de humedad de los sustratos en termobalanza; y D) Incubación de los sustratos.



iii. Crecimiento del micelio en los diferentes tratamientos de las placas Petri.



iv. Distribución del sustrato para la fase de fructificación