



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERIA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)
como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*).

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor

Vargas Satan, Cristian Alexander

Tutor

Ing. Víctor Hugo Valverde PhD

Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Cristian Alexander Vargas Satan, con cédula de ciudadanía 0604708875, autor del trabajo de investigación titulado: Aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustrato para la producción de hongo ostra (*pleurotus ostreatus*), certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 11 de diciembre de 2025.

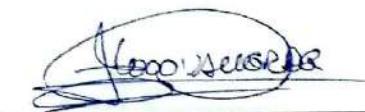


Cristian Alexander Vargas Satan
C.I: 060470887-5

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Víctor Hugo Valverde Orozco catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*), bajo la autoría de Cristian Alexander Vargas Satan; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 12 días del mes de diciembre de 2025



Víctor Hugo Valverde Orozco
C.I: 0604242297

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal delegado para la evaluación del trabajo de investigación “Aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustrato para la producción de hongo ostra (*pleurotus ostreatus*)”, presentado por Cristian Alexander Vargas Satan, con cédula de identidad número 0604708875, bajo la tutoría de Ing. Víctor Hugo Valverde Orozco PhD; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 5 de enero de 2026

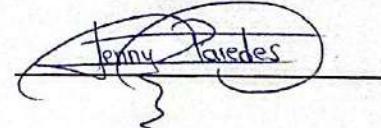
Ing. Diana Estefanía Yáñez Sevilla PhD
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



MgS. Daniel Alejandro Luna Velasco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Jenny Patricia Paredes Fierro PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **VARGAS SATAN CRISTIAN ALEXANDER** con **CC: 0604708875**, estudiante de la Carrera **Agroindustria**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "Aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (**Saccharum officinarum**) como sustrato para la producción de hongo ostra (**Pleurotus ostreatus**)". cumple con el 6% de similitud y 4% de textos potencialmente generados por la IA, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Compilatio**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 11 de diciembre de 2025



Ing. Victor Hugo Valverde Orozco, PhD
TUTOR

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y salud para seguir en este camino laborioso, a mis padres por su apoyo incondicional que siempre tuvieron fe y confianza en mí.

A mis hermanos que a pesar de las circunstancias de la vida siempre han estado presentes.

A mi esposa e hijo por ser el pilar fundamental para que logre alcanzar mis metas y objetivos.

A mi abuelito que estaría orgulloso de verme lograr un triunfo que el siempre añoró.

Cristian Alexander Vargas S.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Víctor Hugo Valverde, tutor de esta investigación, por su invaluable guía, paciencia y dedicación durante todo el proceso. Sus conocimientos, observaciones críticas y constante motivación fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

Agradezco también a mis compañeros y profesores, cuyo apoyo fue esencial en diferentes etapas de esta investigación.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Carrera de Agroindustria por brindarme las herramientas y el espacio necesario para desarrollar este proyecto.

Cristian Alexander Vargas S.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	14
1. INTRODUCCION.....	14
1.1. ANTECEDENTES.....	14
1.2. PROBLEMA.....	15
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.4. OBJETIVOS:.....	17
1.4.1. OBJETIVO GENERAL:	17
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	17
CAPÍTULO II.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 MARCO REFERENCIAL	18
2.1.1 CAÑA DE AZÚCAR (<i>SACCHARUM OFFICINARUM</i>).....	18
2.1.2 ORIGEN.....	19
2.1.3 TAXONOMÍA.....	19
2.1.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	19
2.1.5 PROCESO INDUSTRIAL.....	20
2.1.6 RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.....	21
2.1.7 BAGAZO DE CAÑA.....	23
2.1.8 ECONOMÍA CIRCULAR Y BIOECONOMÍA	24
2.1.9 GENERALIDADES DE LOS HONGOS.	24

2.1.10 SUSTRADOS Y SUS REQUERIMIENTOS PARA SU CULTIVO.....	27
2.1.11 PLAGAS Y ENFERMEDADES COMUNES.	30
CAPÍTULO III.	32
3. METODOLOGIA.....	32
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.1.1 INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA	32
3.1.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.	32
3.1.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.....	34
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	35
3.2.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
3.2.2 POBLACIÓN DE ESTUDIO	35
3.2.3 TAMAÑO DE MUESTRA	36
3.2.4 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	36
3.3. FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE SUSTRADOS.....	36
3.3.1. DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE SUSTRATO.	38
3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DEL SUSTRATO.....	39
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.	41
3.4.1. MÉTODOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	42
CAPÍTULO IV.	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. RESULTADOS.	43
4.1.1 RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.	43
4.2. RESULTADO PARA VARIABLES PRODUCTIVAS.	44
4.3 RESULTADO PARA VARIABLES MORFOLÓGICAS.....	45
4.4 RESULTADO DE LOS DÍAS DEL CICLO PRODUCTIVO.....	45
4.5 ANÁLISIS DE COSTOS.	46
CAPÍTULO V.	50
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
5.1 CONCLUSIONES.....	50
5.2 RECOMENDACIONES.	51
BIBLIOGRÁFIA	52
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la caña de azúcar.....	19
Tabla 2 Composición química de la caña de azúcar.....	20
Tabla 3 Subproductos generados por cada 100 t de caña de azúcar.....	22
Tabla 4 Composición química del bagazo de caña de azúcar.	24
Tabla 5 Clasificación taxonómica del hongo ostra (<i>pleurotus ostreatus</i>).	25
Tabla 6 Comparación del valor nutricional del hongo ostra.....	26
Tabla 7 Características de un compost para la producción de hongo ostra.	29
Tabla 8 Plagas comunes en el cultivo de hongo ostra.	31
Tabla 9 Materiales equipos y reactivos.	36
Tabla 10 Formulación de sustratos.	36
Tabla 11 Métodos de almacenamiento.	40
Tabla 12 Parámetros analizados para la caracterización de materias primas	41
Tabla 13 Análisis de la caracterización del bagazo de caña.	43
Tabla 14 Resultado de la caracterización del aserrín de eucalipto	44
Tabla 15 Resultado del anova para variables productivas.....	44
Tabla 16 Resultado anova para variables morfológicas	45
Tabla 17 Resultado anova para los días del ciclo productivo.....	46
Tabla 18 Costos de materia prima	46
Tabla 19 Costos totales de materias primas.....	47
Tabla 20 Costos indirectos y mano de obra	48
Tabla 21 Costos de materias primas auxiliares.....	48
Tabla 22 Costos de producción para 100 kg de sustrato	48
Tabla 23 Costo total de producción para 2kg de sustrato.....	49
Tabla 24 Resultado de la prueba de normalidad en las variables.	54
Tabla 25 Resultados de la prueba de homogeneidad.....	56
Tabla 26 Análisis multivariante tratamiento/etapa variable rendimiento.....	57
Tabla 27 Prueba de homogeneidad.....	59
Tabla 28 Tratamiento vs etapa de la variable eficiencia biológica.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo industrialización de la caña de azúcar	21
Figura 2: Subproductos de la caña de azúcar.....	22
Figura 3: Representación gráfica del bagazo de caña.	23
Figura 4: Representación gráfica del hongo ostra.	27
Figura 5: Diagrama de flujo	38

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evaluó el aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustrato alternativo para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Se desarrollaron cinco formulaciones de sustrato con diferentes proporciones de bagazo de caña y aserrín de eucalipto: T0-control (92% aserrín), T1 (67% aserrín, 25% bagazo), T2 (42% aserrín, 50% bagazo), T3 (17% aserrín, 75% bagazo) y T4 (92% bagazo), todos suplementados con urea, melaza y cal. La caracterización fisicoquímica del bagazo de caña mostró valores favorables: 98.35% de materia orgánica, 50.3% de carbono, 0.23% de nitrógeno y 56.83% de humedad. Los tratamientos T3 y T4 presentaron los mejores resultados productivos, con eficiencias biológicas de 184% y 194% respectivamente, rendimientos de 27% y 29%, y productividades de 552g y 581g de hongos frescos por kilogramo de sustrato. El T3 destacó por su mayor estabilidad temporal con el menor ciclo productivo (92 días), mientras que el T2 mostró el peor desempeño en todas las variables evaluadas. El análisis económico demostró que la utilización de bagazo de caña reduce significativamente los costos de producción. El T4 presentó el menor costo por bolsa de 2kg (\$5,16) comparado con el sustrato comercial (\$13,62), representando una alternativa económicamente viable con márgenes de rentabilidad superiores. Los resultados confirman que el bagazo de caña constituye un sustrato prometedor que contribuye simultáneamente a la valorización de residuos agroindustriales, la economía circular y la seguridad alimentaria.

Palabras claves: sustrato, bagazo, aprovechamiento, producción, hongo ostra, eficiencia biológica, micelio, primordio.

ABSTRACT

This research evaluated the use of agro-industrial waste from sugarcane (*Saccharum officinarum*) as an alternative substrate for the production of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). Five substrate formulations were developed with different proportions of sugarcane bagasse and eucalyptus sawdust: T0-control (92% sawdust), T1 (67% sawdust, 25% bagasse), T2 (42% sawdust, 50% bagasse), T3 (17% sawdust, 75% bagasse), and T4 (8% sawdust, 92% bagasse), all supplemented with urea, molasses, and lime.

The physicochemical characterization of sugarcane bagasse showed favorable values: 98.35% organic matter, 50.3% carbon, 0.23% nitrogen, and 56.83% moisture. Treatments T3 and T4 showed the best production results, with biological efficiencies of 184% and 194%, respectively, yields of 27% and 29%, and productivities of 552g and 581g of fresh mushrooms per kilogram of substrate. T3 stood out for its greater temporal stability with the shortest production cycle (92 days), while T2 showed the worst performance in all evaluated variables.

The economic analysis showed that the use of sugarcane bagasse significantly reduces production costs. T4 had the lowest cost per 2kg bag (\$0.84) compared to commercial substrate (\$13.62), representing an economically viable alternative with higher profit margins. The results confirm that sugarcane bagasse is a promising substrate that simultaneously contributes to the valorization of agro-industrial waste, the circular economy, and food security.

Keywords: substrate, bagasse, utilization, production, oyster mushroom, biological efficiency, mycelium, primordium.



Reviewed by:

Mgs. Edison Salazar Calderón
ENGLISH PROFESSOR
I.D. 0603184698

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCION.

1.1. Antecedentes.

A lo largo de la historia de la humanidad los hongos se han considerado una causa de enfermedades, deterioro de alimentos, infecciones, daños en estructuras de madera, entre otros. Sin embargo, pese a sus perjuicios, los hongos han llegado a ser muy importantes en la vida cotidiana, entre sus aplicaciones se encuentran la producción de levaduras para la elaboración de bebidas, pan, quesos, vinos, generación de compuestos medicinales como la penicilina, grandes aportes nutricionales, además contienen vitaminas como la riboflavina, tiamina, vitamina D, y poseen bajos contenidos de colesterol y grasas.

El cultivo de hongos ostra u orellana (*pleurotus ostreatus*), se cultivó por primera vez a inicios del siglo XX y se ha incrementado en los últimos 50 años. En la producción de *pleurotus* China es el mayor productor con el 74% seguido por Italia, Polonia, Países Bajos, Rumania, República de Corea y España. Garzon y J (2008) donde el sustrato utilizado comúnmente se basa es aserrín, rastrojo de trigo, y materiales lignocelulósicos.

Una alternativa al uso de estos sustratos podría ser el aprovechamiento de residuos agroindustriales como el bagazo de caña, en usos no cotidianos puede constituir una alternativa de producción o reemplazo de insumos comúnmente empleados en actividades productivas, en esta propuesta se permitirá gestionar, aprovechar y darles un valor comercial o agregado optimizando recursos y generando ingresos económicos. Por ello, la aplicación de residuos como el bagazo de caña y otros en sustratos de cultivo de hongos, representan una oportunidad de creación de sustratos formados a partir de coproductos y subproductos generados en los sistemas de producción agroindustriales que pueden usarse en la producción de hongos ya que poseen un contenido nutricional óptimo y constituyen una fuente alternativa a los sustratos usados comercialmente.

El trabajo de investigación de Cerrano (2016), utilizó dos tipos de residuos generados de la industria como es el bagazo de caña y la calcha de maíz como ingredientes principales para la elaboración de un sustrato adecuado para el crecimiento de *Pleurotus ostreatus*, donde la formulación de 50/50 en base a estos dos materiales resultó ser el mejor tratamiento en cuestión de rendimiento, el peor tratamiento fue de 100% bagazo de caña en relación a la productividad, debido a que este material no tiene buenas propiedades de retención de agua. En esta investigación se puede concluir que los factores que son determinantes para el crecimiento de cepas son la temperatura y humedad.

Mercado y Tupa (2022) en el estudio titulado: “El bagazo de caña como sustrato para la producción de *pleurotus ostreatus*”. En el cual buscó evaluar el uso potencial del bagazo de caña en la producción de hongo ostra, teniendo en cuenta la longitud del sustrato (tamaño de partícula) ya que tiene relación con el acceso de nutrientes, el agua y el aire. Aplico una

metodología experimental y cuantitativa siguiendo las fases del proceso tales como; preparación del sustrato, inoculación, incubación, fructificación, cosecha y productividad. El T1 (tamaño de partícula de 2 cm) generó una eficiencia biológica del 41.1 % y una producción de 0.65 %, para el T2 (tamaño de partícula de 5 cm) se evidencia una eficiencia biológica de 44.89% y una tasa de producción de 0.71 %. En conclusión, el sustrato de bagazo de caña con un tamaño de partícula de 5 cm (T1) representa una ventaja significativa con respecto al T2 (tamaño de partícula de 2 cm) ya que favorece el crecimiento del hongo.

Aguinaga (2012), determina la mejor alternativa de sustrato para el crecimiento de hongo ostra (*pleurotus ostreatus*) en rendimientos y costos de producción. Para lo cual se realizaron tres repeticiones, se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar (BCA) de cuatro tratamientos los cuales fueron: bagazo de caña, paja de trigo, aserrín y mezcla forrajera. Las fundas fueron llenadas por 1 kg de sustrato húmedo y 0.40 kg de semilla del hongo, se estableció variables de estudio como el peso del hongo, diámetro de los carpóforos, eficiencia biológica y rendimiento de producción. Los resultados para determinar el mejor sustrato se realizó un análisis (ANOVA) con una prueba de rangos múltiples de tukey con un nivel de significancia del 95% para determinar si los tratamientos fueron diferentes. Como conclusión el tratamiento con sustrato de bagazo de caña obtuvo los mejores resultados en todas las variables estudiadas con los siguientes datos: por cada kg de sustrato húmedo se produjo 177.1 g de hongo fresco, 5.9 cm de diámetro de los carpóforos en promedio, una EB de 40.5 % y el rendimiento de 8.9 kg/m².

Con el análisis de las investigaciones descritas anteriormente se puede evidenciar el uso potencial del bagazo de caña, aserrín enriquecido (urea, cal melaza) como materiales óptimos para generar un sustrato adecuado para el crecimiento del hongo ostra.

La investigación de Smith (2019), determina las alternativas de fuente de carbono y nitrógeno para la elaboración de sustratos, entre ellos destacan: semillas oleaginosas, bagazo de caña, paja de arroz, rastrojo de maíz y un ingrediente control como es la paja de trigo. Siendo el bagazo de caña uno de los ingredientes con mejor rendimiento con relación al costo, disponibilidad, propiedades físicas-químicas, viabilidad. Aunque un aspecto negativo es la dificultad de transporte. Expertos en el cultivo de agaricus bisporus declaran que el bagazo de caña representa mejores condiciones para el crecimiento de este tipo de hongo, ya que presenta una relación C/N de 120-190, valores superiores a la paja de trigo.

1.2. Problema.

En Ecuador la producción agroindustrial y un escaso manejo de los desechos que genera, causan un gran impacto ambiental, ya que en el país no existe una norma específica que ayude a evaluar la importancia de los residuos generados por la actividad agroindustrial y su tratamiento. En su mayoría estos desechos van a parar en ríos, quebradas, basureros, o son quemados sin haber recibido el tratamiento adecuado, generando así contaminación ambiental. Estos residuos contienen materia orgánica, minerales y nutrientes aprovechables para otras especies.

Durante el procesamiento de una tonelada de caña de azúcar se producen aproximadamente 270 kg de bagazo, lo que equivale a 135 kg de materia seca convirtiéndose en un residuo acumulativo en las zonas cañeras del país (Achupallas & Amaya, 2023)

El aserrín generado por la industria maderera es considerado como un residuo del sector forestal que es dispuesto al medio ambiente, convirtiéndose en una severa fuente de contaminación que afecta tanto a las corrientes de aguas superficiales como a los asentamientos poblacionales ubicados en el entorno de los aserraderos. La acumulación de estos desechos causa serios problemas como la contaminación de aguas por percolación de extractos solubles, contaminación atmosférica por polvos finos en suspensión (Raúl, Radium, Anguie, & Calero, 2016)

A su vez, el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* se presenta como una opción biotecnológica para aprovechar residuos lignocelulósicos agrícolas y agroindustriales, ya que estos organismos utilizan como principal alimento la celulosa y lignina presentes en dichos residuos. Por otro lado, los sustratos utilizados para este cultivo se basan en residuos de paja de trigo, aserrín, pulpa de café, fibra de coco, y otros materiales.

El manejo adecuado y eficiente de estas materias primas permite generar desarrollo sostenible en la sociedad, reducción de la contaminación ambiental y la formación de economía circular. La transformación de residuos agrícolas en productos comercializables crea oportunidades de empleo en las áreas rurales, promoviendo el desarrollo económico y mejorando la calidad de vida de los agricultores

La problemática radica en la falta de caracterización de residuos y evaluación productiva del bagazo de caña y aserrín en sustratos alternativos para la producción de hongos, en los cuales se puede considerar aspectos como: Eficiencia biológica, composición C/N, métodos de producción de sustratos, viabilidad económica e impacto ambiental.

1.3. Justificación.

Por ello, la presente investigación tiene como finalidad el aprovechamiento de residuos agroindustriales como el bagazo de caña y otros residuos derivados de las actividades agropecuarias, Las cuáles serán destinados a la elaboración de un sustrato adecuado para optimizar recursos económicos y potenciar la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*).

El bagazo de caña de azúcar y el aserrín representan dos de los residuos agroindustriales más abundantes en Ecuador. Por lo tanto, la mala disposición de estos residuos puede generar problemas ambientales y sociales, así como altas emisiones de dióxido de carbono y partículas volátiles generadas por la quema de los mismos, la contaminación de ríos y fuentes de agua ocasionado por los lixiviados, generación de malos

lores o proliferación de ratas e insectos (Raúl, Radium, Anguie, & Calero, 2016). Por ello el presente trabajo de investigación pretende ayudar a mitigar estos impactos ambientales al proponer una alternativa viable, sustentable.

Además, se busca en si implementar un sistema de economía circular en el cual pretende eliminar los residuos y contaminantes con la ayuda de la revalorización y reutilización de desechos.

Con la producción de hongos

ostra el cual se alimenta de residuos lignocelulósicos y en si es un organismo descomponedor se genera una alternativa de consumo específico para un determinado segmento del mercado. Ya que, además de ser muy versátil al crecer en muchos tipos de residuos y no ser tan sensible a cambios de temperatura como otras especies. Aporta proteínas, son antioxidantes, anticancerígenos, disminuyen el nivel de colesterol.

Para la implementación a gran escala de este tipo de cultivo se requiere una fuerte inversión en infraestructura, maquinaria, equipos de medición y control de temperaturas. Por ello esta investigación pretende implementar un sistema de producción artesanal sin mayor control automatizado de temperatura y humedad. Además de utilizar como sustrato el bagazo de caña que en relación al aserrín es mucho más barato.

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo general:

Aprovechar los residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*).

1.4.2. Objetivos específicos:

- Establecer las características necesarias en un sustrato a base de bagazo de caña y evaluar su potencial en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.
- Formular diversos sustratos, determinar sus características y compararlos con un sustrato comercial.
- Determinar los costos de producción del sustrato.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Marco referencial.

El trabajo de investigación de Lucia (2020) titulado “Producción de hongos (*pleurotus ostreatus*) en sustratos: coronta de choclo, bagazo de caña y aserrín” determinó la influencia de los sustratos de coronta de choclo, bagazo de caña y aserrín en la producción de hongos comestibles. Según la información encontrada detalla que en la región de Perú si existe el consumo y producción de hongo, además que estos sustratos aportan una alternativa de producción y de reutilización de materiales lignocelulósicos para la producción de hongos. El mismo estudio concluye que la coronta de choclo fue el mejor material orgánico en ser utilizado para la producción de hongos.

(Ingrid, 2024) en su estudio titulado “evaluación de los residuos agrícolas y de poda en la estación experimental Tunshi como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostratus*), busca reutilizar y aprovechar los desechos agrícolas presentes en la estación experimental, se buscó la manera de aprovechar los residuos generados por actividades del campo. La metodología presentada tuvo un enfoque experimental y de naturaleza cuantitativa. Donde se evaluó la eficiencia biológica y el rendimiento del sustrato. Además se realizó análisis bromatológicos para los hongos cosechados. Los resultados determinaron que el tratamiento 1 fue el más eficiente con un valor de rendimiento del 38.9% y una eficiencia biológica del 77.32%.

2.1.1 Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) pertenece a la familia de las gramíneas, con el tallo leñoso de unos dos metros de altura, hojas largas, lampiñas y flores púrpuras en panoja piramidal. El tallo está lleno de un tejido esponjoso y dulce del que se extrae el azúcar. La caña de azúcar se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales de la tierra. En la cual se destacan seis especies: *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. barberi*, *S. sinensi*, *S. edule* y *S. officinarum*; los clones comerciales de caña de azúcar son derivados de las combinaciones entre las seis especies anteriores, predominando las características de *S. officinarum* como productora de azúcar (MAG, 2015).

Esta especie se acentúa en un clima tropical, utilizada principalmente en la industria alimentaria como materia prima para realizar una extensa variedad de productos, entre ellos, el más importante es el azúcar de mesa y por consiguiente todos sus derivados, pero también tiene otros usos, como: alcohol, combustible, abonos, alimentos para cerdos, entre otros (Aguirre, 2010).

Según INEC (2022), en Ecuador, la mayoría de los cultivos de caña se emplean en la elaboración de azúcar. En 2019 la superficie cosechada con esta finalidad fue de 121.812 ha (hectáreas), no obstante, también se ocupó un área de 15.525 ha, a cultivos de azúcar para

otros usos como la producción de alcohol y etanol. Brasil, México y Colombia encabezaron la lista de los principales productores de caña de azúcar en América Latina y el Caribe, donde Ecuador ocupó el octavo lugar con una producción de 8.6 millones de toneladas, consumidas en un 99 % en el mercado nacional (Fund, CEER, Asobanca, & ONU, 2021)

El cultivo de caña destinado a la producción de azúcar en Ecuador se concentra en cinco provincias: Guayas con el 81.4 % de superficie cosechada, Cañar 13.7 %, Imbabura 2.1 %, Loja 1.9 % y Los Ríos 0.9 %. A su vez, los cultivos de caña para otros fines se ubican en 20 provincias, de las cuales Cotopaxi y Bolívar son las que presentan mayores porcentajes de cosecha 20.75 % y 16.25 %. (INEC, 2022)

2.1.2 Origen.

La caña de azúcar es una planta proveniente del sureste asiático. Fue llevada a la Península Ibérica por los árabes, donde se cultivaba principalmente en las tierras costeras de Málaga y Granada. Posteriormente los europeos llevaron la planta, primero a las islas Canarias, y luego a las Indias Occidentales, en muchas de cuyas zonas el clima era más favorable que en la Península Ibérica, por lo que casi se abandonó el cultivo en ésta. Con el descubrimiento de América se llevó la caña de azúcar a Latinoamérica, en donde actualmente tiene a Brasil y México como los mayores productores de caña de azúcar en el mundo. (Loor, 2020)

2.1.3 Taxonomía.

En la tabla N° 1 se denota la división taxonómica en relación a la caña de azúcar *Saccharum officinarum*.

Tabla 1
Taxonomía de la caña de azúcar.

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Poales</i>
Familia	<i>Poaceae</i>
Genero	<i>Saccharum</i>
Especie	<i>Officinarum</i>

2.1.4 Composición química.

Las características químicas de la caña de azúcar dependerán de las labores culturales como; sus métodos de siembra, fertilización, riego, cosecha y almacenamiento. A su vez el factor ambiental también juega un rol importante para determinar dichas características químicas. Por ello sus valores más característicos se representan en la tabla 2.

Tabla 1*Composición química de la caña de azúcar*

Caña	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

Nota. Tomado de *Composición química de la caña de azúcar* (p.10), por Pierre, 2018. Metro Ediciones Investigativas.

2.1.5 Proceso Industrial.

La caña de azúcar es considerada uno de los principales productos en América Latina, para Ecuador su producción es importante, aunque en menor grado. Los datos del Banco Central, nos informa, que: la siembra y cosecha de la caña de azúcar contribuye con el 1.4 % al PIB nacional y genera más de 30.000 empleos directos y 80.000 indirectos sobre todo en las épocas de alta productividad, la misma que se da en el segundo semestre del año (Soledispa, Zea, Osejos, & Delgado, 2019)

Según el Banco Central del Ecuador y el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar en el Ecuador (CINCAE). El precio actual por tonelada de azúcar es de 35.05 dólares. El precio sube luego de siete años, tiempo durante el cual se mantuvo en 31.70 dólares. El nuevo precio de la tonelada de caña de azúcar, será el que deben pagar los ingenios a los productores de caña del país (Ministerio de agricultura y Ganadería , 2022).

El aprovechamiento industrial de la caña de azúcar en el país se determina en la obtención de diversos productos en su mayoría azúcar cruda, blanca, refinada, alcohol, melaza y panela. Los volúmenes de producción han tenido un crecimiento anual, donde el azúcar es el producto más producido con una producción de 510.000 t para el año 2006. (CINCAE, 2021).

2.1.5.1 Diagrama de flujo estándar sobre el proceso industrial de la caña de azúcar

El proceso industrial básico comprende la extracción del jugo azucarado mediante molienda, su purificación por clarificación y filtración, la concentración por evaporación, la cristalización del azúcar, y finalmente la separación, secado y envasado del producto terminado. Este proceso genera cantidades significativas de subproductos, siendo el bagazo

el más abundante, con aproximadamente 280 kg producidos por cada tonelada de caña procesada.

En el grafico 1 se determina el diagrama de flujo básico acerca de la industrialización de la caña de azúcar.

Figura 1: Diagrama de flujo industrialización de la caña de azúcar



2.1.6 Residuos generados en la industria azucarera.

Los residuos generados por los procesos de producción agroindustriales denotan una problemática ambiental, lo que deriva en el desgaste de los ecosistemas presentes y en el malestar de las comunidades donde se asientan este tipo de industrias. El nivel de deterioro puede variar de un proceso a otro el cual dependerá de diversas variables y del tratamiento que se les pueda aplicar.

En lo que respecta a la industria de la caña de azúcar, se ha demostrado que en la mayoría de los casos la producción asociada a ella tiene un impacto negativo en el medio ambiente, esto se debe principalmente por el vertido de desechos materiales y energéticos al medio ambiente sin un uso adecuado de los recursos en estos procesos (Gonzales, Suárez, Morales, & Albernas, 2013).

Según (CINCAE, 2021) “centro de investigación de la caña de azúcar ecuador” señala que; los subproductos derivados de la actividad agroindustrial de la caña de azúcar al final del año 2008 resultó con una producción de 510.000 m³ (metro cúbico) de vinaza, 1.300.000 t (tonelada) de bagazo, 140.000 t de cachaza y 35.000 t de ceniza, en la figura 1 se muestra algunos de los subproductos más representativos.

Figura 2: Subproductos de la caña de azúcar.



Nota. A (bagazo de caña), B (melaza), C (cachaza).

En la tabla 3 se detalla las cantidades de subproductos que se genera por cada 100 t de caña de azúcar utilizada en los procesos de transformación.

Tabla 2

Subproductos generados por cada 100 t de caña de azúcar.

Producto	Toneladas
Azúcar	10.65
Bagazo	21.30
Melaza	3.30
Cachaza	3.00
Residuos agrícolas	30.0

Nota. Tomado de *Subproductos de la caña de azúcar*, por Palma, 2015, Engomix (https://www.engomix.com/lecheria/cana-azucar-subproductos-nutricion-bovina/subproductos-cana-azucar_a32177/)

2.1.7 Bagazo de caña.

Se conoce como bagazo de caña al residuo proveniente de la molienda para la obtención del azúcar, el sobrante de dicho proceso se conforma por materiales altamente fibrosos, los mismos que se utilizan por varios ingenios azucareros en la producción de energía térmica para alimentar sus calderas. La utilización de este residuo en la industria ha sido de mucha importancia ya que supone una alternativa para la producción de papel, paneles aglomerados, aditivos alimentarios, y derivados farmacéuticos gracias a su alto contenido de celulosa (Rivera, 2011).

Figura 3: Representación gráfica del bagazo de caña.



Nota. (Rico, 2016)

Según Proaño (2019) describe al bagazo de caña como “el residuo lignocelulósico, fibroso, obtenido a la salida del último molino del tandem durante la fabricación del azúcar al momento de extraer el jugo de la caña”, este residuo representa el 28 % en peso de la caña que se utiliza en el proceso de producción la misma que se divide en cuatro componentes como: fibra 45 %, sólidos insolubles 2 – 3 % y agua 50 %. Dado estos datos se puede concluir que el bagazo de caña es el residuo que más tonelaje representa en este sistema productivo.

2.1.7.1 Composición.

La humedad relativa del bagazo de caña en su último molido representa un 50 %, asimismo contiene un porcentaje residual de sacarosa del 4 %. Además, resulta ser un valor muy significativo ya que representa entre un 23 a 27 % del total de residuos, en el bagazo se puede diferenciar dos características morfológicas bien definidas dentro de su estructura: la fibra, se constituye como una estructura cristalina, brinda rigidez a la planta y tiene estabilidad química, y la parénquima o meollo tiene una estructura deformable además que posee un alto grado de absorción (Galarza, 2017).

La fibra presente en el bagazo está compuesta de los sólidos orgánicos insolubles en agua, este componente se encuentra presente en el tallo de la caña de azúcar. Dichos compuestos insolubles están formados por sustancias inorgánicas como; piedras, tierra, material vegetativo, materiales extraños. Las cuales se derivan de las actividades agrícolas como sus labores de cultivo (corte, y recolección). Además, los sólidos solubles presentes en el bagazo de caña se componen por sacarosa y ceras, este último se encuentra en menor proporción.

A continuación, se representa en la tabla 4 los componentes químicos del bagazo de caña.

Tabla 3

Composición química del bagazo de caña de azúcar.

Características químicas %	integral	Fracción fibra	Mécula
Celulosa	46.6	47.0	41.2
Pentosanas	25.2	24.1	26.0
α celulosa	38.3	40.4	-
Lignina	20.7	19.5	21.7
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

Nota. Tomado de *Composición química del bagazo de caña*, por Pellerano, 2019, Metreox ediciones investigativas.

2.1.8 Economía circular y bioeconomía

La economía circular propone la reducción, reciclaje, reutilización, recuperación y/o valorización de los residuos, los cuales, al ser procesados alcanzan mayor valoración social, reconociéndose efectos positivos para la sociedad y beneficios económicos para la industria.

La bioeconomía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad y cuyo objetivo es conservar en la economía los recursos durante el mayor tiempo posible y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. En consecuencia, la bioeconomía es una herramienta que debería dar respuesta a grandes desafíos, como alimentar a una población creciente, garantizar el suministro equitativo de los alimentos, mitigar los efectos del cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

El modelo de producción no circular genera una cantidad importante de residuos, como es el caso de la industria agroalimentaria. Este sector ha sido afectado por la emisión de residuos de la economía lineal, lo cual se ha agravado por el cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

2.1.9 Generalidades de los hongos.

Según los estudios de Martínez y Bellester (2004), denotan a los hongos como organismos sencillos estructuralmente, en el cual se constituye por un talo, que es el aparato vegetativo fructífero, no se distinguen raíz, tallo, hojas. La característica más relevante es que carecen de clorofila, es decir no convierten las sustancias inorgánicas en alimentos. Su sustento es el material orgánico en descomposición y su reproducción es por esporas órganos que llevan todo el material genético capaz de generar un nuevo individuo.

Los hongos son organismos eucariotas, lo que significa que sus células poseen un núcleo bien definido y organelos rodeados por membranas. A diferencia de las plantas, no realizan fotosíntesis; son heterótrofos, obteniendo sus nutrientes del entorno. Una característica definitoria es la presencia de quitina en sus paredes celulares, un polisacárido

que también se encuentra en el exoesqueleto de insectos y que les confiere resistencia y flexibilidad. La mayoría de los hongos son aerobios, aunque existen excepciones notables como las levaduras, que pueden ser anaerobias facultativas.

La micología es la ciencia que estudia a los hongos, viene de la etimología Mico-hongo y Logos-estudio. el reino Fungí, que es un mundo distinto al que conocemos, un mundo extraordinario en el cual las esporas se encuentran por millones en todas partes. Los hongos, descomponen restos vegetales y animales y de ellos obtienen nuevos compuestos orgánicos. De esta forma, los hongos asumen una función eliminadora de residuos sin deterioro del medio ambiente y al mismo tiempo, permiten que todo lo que ha cumplido su ciclo en la naturaleza sea utilizado nuevamente. Solamente los hongos y algunas bacterias, son los únicos seres vivos capaces de sobrevivir a partir de madera muerta (Flores & Contreras, 2018)

2.1.9.1 Hongo ostra (*pleurotus ostreatus*).

El hongo ostra es un hongo saprofito o llamado parasito descomponedor, crece de forma natural en arboles como el aliso y el arce, es un hongo comestible muy apreciado, valorado por su textura carnosa y sabor sutil. Se cultiva ampliamente y está disponible durante todo el año, lo que lo convierte en una opción accesible para el uso culinario. Es una delicia en la cocina japonesa, coreana y china, y se utiliza en sopas, guisos, salteados con salsa de soja, o como alternativa vegetariana a la carne. (Aromas & Boletos, 2025)

2.1.9.2 Taxonomía de *pleurotus ostreatus*.

En la tabla 5, se establece las características y división taxonómica perteneciente al hongo ostra

Tabla 4

*Clasificación taxonómica del hongo ostra (*pleurotus ostreatus*).*

Reino	Fungi
División	Eumycota
Subdivisión	Basidiomycotina
Clase	Himenomycetes
Orden	Agaricales
Familia	Tricholomataceae
Genero	pleurotus
Especie	ostreatus

Nota. Tomado de *Aprovechamiento del bagazo de maguey verde (agave salmania) de la agroindustria del mezcal en san Luis Potosí para la producción de hongo ostra (*pleurotus ostreatus*)* (p. 20), por Baena, 2005.

[http://ipicyt.repositoryinstitucional.mx/jspui/handle/1010/989.](http://ipicyt.repositoryinstitucional.mx/jspui/handle/1010/989)

2.1.9.3 Características nutricionales.

El hongo ostra se caracteriza por tener múltiples beneficios para la salud del hombre, como es el contenido de vitaminas como la tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido ascórbico (vitamina C), ergosterina (pro-vitamina D2) y la biotina (vitamina H). Lo que también contiene un importante nivel de ácido fólico, la cual es escasa en las hortalizas y que puede estimular la curación de la anemia.

En la tabla 6 se compara las cualidades nutricionales del hongo ostra con relación a otros alimentos.

Tabla 5

Comparación del valor nutricional del hongo ostra.

Fuente	Agua %	Proteína	Grasa	Carbohidratos	Minerales
Hongo Ostra	92	16	0.9	57	1.0
Carne	68	18.0	13.0	0.5	0.5
Leche	87	3.5	3.7	4.8	0.7
Papa	75	2.0	0.1	21.0	1.1
Espinaca	93	2.2	0.3	1.0	1.9

Nota. Tomado de *Cultivo de Hongo ostra* (p.31), por Muñoz, 2018, Camagro.

2.1.9.4 Morfología del hongo ostra.

- El hongo ostra es un hongo formado por un sombrero de forma semiesférica o plana y pie cilíndrico, que normalmente es de color blanco.
- Sombrero con un diámetro de 5 a 12 cm
- Esporas, semillas microscópicas que actúan como agentes reproductores.
- Micelio, conjunto de hifas que se genera a partir de la producción de esporas, de la cual se desarrolla la parte aérea del champiñón u hongos.
- El estípite o pie es corto y grueso que puede llegar a medir de 0.5 a 3 cm de longitud, la ubicación de este tallo a diferencia de algunas setas es excéntrica es decir que no parde del centro del sombrero.

Figura 4: Representación gráfica del hongo ostra.



Nota. Recuperado de *Guía práctica para el cultivo de setas* (p. 15), por Barba y López, 2017, Centro Ecuatoriano De Biotecnología Ambiental.

2.1.9.5 Ciclo de producción

El ciclo producción de los hongos está dividido en dos partes, la primera es el crecimiento vegetativo en las cuales se distingue las esporas y micelio, y la segunda etapa es el crecimiento reproductivo donde se generan los cuerpos fructíferos (Silva, 2009)

Se distingue el micelio como una estructura filamentosa, que tiene el aspecto a una telaraña. Esto se debe a que la espora es germinada formando el micelio primario que al crecer da lugar al conjunto de hifas denominado plasmogamia. La función de este micelio es descomponer moléculas componentes complejos los cuales se transformarán en nutrientes aprovechables para el crecimiento tanto del micelio como para su etapa de fructificación.

Las setas surgen cuando el micelio llega a su madurez vegetativa, es decir a colonizado por completo el sustrato, según el tipo de sistema productivo existen varias formas de saber cuándo un micelio está listo para fructificar. En el sistema por bolsas se denota cuando el bloque completo de sustrato se torna de un color blanco en su totalidad, además de que existe una ligera compactación del mismo por la acción del micelio.

2.1.10 Sustratos y sus requerimientos para su cultivo.

los sistemas de producción agrícola es una de las actividades más explotadas a nivel mundial. Por ende, se genera un deterioro excesivo en los suelos, la cual se evidencia en muchas limitaciones tanto como físicas, químicas y biológicas (erosión, salinidad, presencia de microorganismos patógenos) entre otros. Por ello se presenta diversas alternativas para dar solución a este problema, como la sustitución parcial del suelo por sustratos específicos para cada actividad agrícola.

Se conoce como sustrato a un material de carácter sólido que cumple con diversas funciones como soporte de la planta, contención y retención de humedad, aportar nutrientes, evitar el paso de la luz a las raíces, y permitir una mejor aireación (Calderón & Cevallos, 2001). Existe una gran variedad de materiales que pueden ser empleados para la elaboración de un sustrato, pero estos dependerán de los requerimientos del cultivo de interés. Mesaguer et al., (2006) decran que “un material utilizado como sustrato debe de estar constituido por tres fracciones” las cuales se establecen a continuación.

- **Fracción sólida:** brinda soporte mecánico al cultivo.
- **Fracción líquida:** determina la cantidad y disponibilidad de agua para que el cultivo se desarrolle de mejor manera además de ser la fase que aporta nutrientes a la misma.
- **Fracción gaseosa:** esta fase se comprende por la actividad de intercambio de oxígeno y dióxido de carbono hacia las raíces de la planta.

Se define como sustrato a todo material sólido que es distinto al suelo natural, que puede ser elaborado por materiales residuales, mineral u orgánico. Que gracias a su proceso de fermentación (compost) es utilizado como un medio de crecimiento para plantas la cual se dispone dentro de un envase, limitando así el crecimiento de sus raíces en el suelo y además tiene la capacidad de proporcionar agua, nutrientes y el oxígeno necesario que esta necesita para su óptimo crecimiento. De acuerdo a sus tipos de materiales de elaboración se pueden clasificar como orgánicos e inorgánicos (Agroequipos, 2018)

2.1.10.1 Compost

Se define como un abono orgánico de coloración oscura, suelto, parecido al suelo, elaborado a partir de materiales biodegradables, a través de un proceso donde por la acción de los microorganismos y factores ambientales como sol, agua, y aire se liberan gases y calor.

El objetivo principal en el proceso de preparación del compost es producir el medio adecuado para el crecimiento del hongo.

Durante este proceso, se libera calor debido a la combustión de los carbohidratos que se descomponen rápidamente. La microflora termófílica reemplaza a la mesófílica. Al momento de la siembra, la temperatura desciende a los valores normales. No existe desarrollo de la microflora mesófílica ya que no hay carbohidratos de fácil descomposición y también no hay microflora termófílica debido a la temperatura, como resultado de esto el micelio del champiñón puede crecer si competencia (Muñoz, 2018)

2.1.10.2 Materiales utilizados en la elaboración de sustratos.

Para la elaboración de un sustrato derivado de materiales orgánicos se debe tomar en cuenta un área con buen drenaje, fácil acceso, cercanía del lugar donde se encuentran los desechos a utilizar. Los cuales pueden ser:

- Residuos provenientes de las actividades agrícolas.
- Restos de granos y cereales (soya, cascarilla de cacao)
- Residuos de la industria azucarera (bagazo, paja)
- Residuos de frutas y hortalizas
- Desechos domésticos (papel, cartón, cascaras)
- Estiércol de animales (vacuna, equina, porcina, gallinaza, ovina, caprina, etc.)
- Residuos de la industria maderera

2.1.10.3 Requerimientos nutricionales.

Una buena producción de hongo se debe en gran medida a las condiciones específicas que debe tener un sustrato, como la relación entre carbono y nitrógeno (C/N) que en su mayor parte se considera una relación 3 a 1 es decir, por cada 3 residuos ricos en carbono (materiales secos, pajas, bagazo, aserrín) existe uno con poco potencial de nitrógeno (estiércoles).

A su vez los componentes del sustrato que sea de origen orgánico como los estiércoles y residuos, tienen diferentes propiedades físicas y químicas. Por ello se debe considerar las siguientes características.

- Relación C/N de 30 a 1 o mayor.
- Tamaño de partícula en los materiales leñosos <5 mm (milímetros).
- Contenido de humedad del 72%.
- Temperatura de pasteurización 120 °C por 60 minutos

En la tabla número 7 se denota las principales características que debe contar un compost.

Tabla 6

Características de un compost para la producción de hongo ostra.

Parámetro	Resultado
pH	7.5-8.5
Humedad	71-72%
Nitrógeno total	2.05%
Materia orgánica	73%
Cenizas	40%
C/N	30/1-300/1
Amoniaco	0.4-0.45%
m.o.c	Libre

Nota. microorganismos competidores (m.o.c)

2.1.10.4 Fase de incubación.

la colonización o incubación consiste en brindar al micelio del hongo las condiciones óptimas para que colonice o invada el sustrato lo más rápido posible. Se debe controlar la temperatura en un rango de 25 a 28°C, mantener el espacio en completa obscuridad, poca ventilación con el fin de mantener un bajo intercambio gaseoso, manteniendo un nivel de CO₂ esto ayuda a eliminar los contaminantes que no toleran estas condiciones, se debe mantener una humedad relativa baja del 60 a 70%. La colonización completa se evalúa cuando el sustrato se encuentra completamente de color blanco, cuyo proceso de formación toma de 20 a 30 días (Fernández, 2004)

2.1.10.5 Fase de fructificación.

Al finalizar la fase de inoculación, el micelio empezara otra etapa de crecimiento que se denota fructificación o inducción, la cual se desarrolla 10 a 14 días después de la inoculación, y se evidencia con la aparición de pequeños botones llamados primordios.

Para inducir la fructificación de los primordios en cuerpos fructíferos de buena calidad se debe cambiar drásticamente el ambiente, disminuyendo la temperatura en un rango de 10 a 20°C, ciclos de luz solar o artificial de manera indirecta con un horario de 12 horas luz y 12 horas de obscuridad, buena ventilación con el fin de aumentar el intercambio gaseoso, aumentar la humedad relativa desde 70 a 80% esto ayudara a que el hongo absorba el agua como si fuese una esponja lo cual derivara en un crecimiento rápido. (Fernández, 2004)

2.1.11 Plagas y Enfermedades comunes.

El cultivo de hongo ostra no está libre de plagas y enfermedades, por ello se debe aplicar procedimientos de prevención. Ya que, si una plaga o enfermedad se establece en el sustrato o en el mismo hongo, puede ser muy difícil de eliminar, La contaminación en el cultivo de hongos se puede dar por diferentes maneras:

- Una mala esterilización de los sustratos
- Deficiencias en el manejo de materiales para la elaboración de sustratos
- Mala manipulación en la fase de inoculación.
- Falta de higiene en la fase de incubación.

Para lo cual es fundamental tener en cuenta técnicas de prevención como la higiene y mantener un control adecuado en el ambiente, se puede utilizar cloro, alcohol, u otro material con el fin de desinfectar superficies como paredes, estanterías y utensilios que se pueden utilizar. (Hernandez, Merlo, & G, 2006)

A continuación, las plagas más comunes para el cultivo de hongo ostra se describen en la tabla 8.

Tabla 7

Plagas comunes en el cultivo de hongo ostra.

Nombre común	Variedades	Síntomas	Tratamiento
Ácaros	Araña blanquecina	Cavidades en el pie y sombrero, desdoblamiento de las raíces, irritaciones en el sombrero.	Acaricidas
	Araña rubia		
	Araña roja		
	Araña negra		
Mosca de los hongos	Sciáridos	Sus larvas estropean el micelio, fallos en la fructificación, dañan los hongos formados.	Desinfección del compost, higiene estricta en el área de cultivo
	Foridos		
	Lycoriella		
Escarabajos	Escarabajos colémbolos	Producen pequeños orificios ovales de aspecto reseco en el sombrero.	Mantener el sustrato húmedo.
	Mycotretus		Insecticidas.
Mohos (hongos) y levaduras	Trichoderma	Manchas amarillentas, anaranjadas, verdosas y negras sobre el sustrato. Esto se debe a una alta humedad en el ambiente o en el sustrato, así como la luz indirecta, altas temperaturas y sustrato mal pasteurizado.	Se recomienda separar la bolsa de las demás con el fin de evitar propagación de las esporas de los mohos.
	Penicilium		
	Aspergillus		
	nurospora		Se puede tratar con peróxido de hidrógeno al 3%.

Nota. Tomado de *Manual práctico de cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción* (p. 56), por Hernández et al, 2006.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de investigación.

La presente investigación lleva a cabo una metodología de tipo cuantitativa con un diseño experimental, por ello se realizó diversas formulaciones que integraron de manera parcial o completa el bagazo de caña en los sustratos formulados para la producción de hongo ostra. Este proceso experimental se realizó en los laboratorios de control de calidad de la Carrera de Agroindustria perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo y los laboratorios de investigación de la ESPOCH.

3.1.1 Investigación cuantitativa.

Se aplicó la investigación cuantitativa ya que se manipularon variables numéricas las cuales se obtuvieron al realizar los análisis en la caracterización de las materias primas propuestas para la elaboración de un sustrato destinado al cultivo de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). además, se evaluaron variables relativas a la producción de hongo ostra en función de los tratamientos formulados, y los costos de producción del cultivo. Dichos datos obtenidos fueron analizados en el software estadístico llamado IBM spss Statistics.

3.1.2 Investigación experimental.

La investigación del “Aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*)” comprendió varias etapas.

Se obtuvieron muestras de residuos, a las cuales se les realizó un pretratamiento que consistía en triturar los materiales en este caso el bagazo de caña con la finalidad de disminuir su tamaño facilitando así su manejo para los análisis posteriores, después del preparar los residuos se realiza un secado para mantener sus cualidades por un tiempo prolongado, esto se logo en la estufa a una temperatura de 80°C por 8 horas.

Una vez obtenemos las muestras adecuadas se procede a los análisis de carbono oxidable que sigue la metodología descrita por Walkley black en la que consiste en una técnica de titulación donde pesamos la muestra en un Erlenmeyer y adicionamos soluciones de dicromato de potasio, ácido sulfúrico, ácido fosfórico, y difenilamina. Las cuales serán tituladas con una solución de sulfato ferroso. Para la determinación de nitrógeno se sigue el método Kjeldahl con unos reajustes determinados para suelos y materiales orgánicos los mismos que son propuestos por Gavilanes et al (2023), estos análisis se realizaron en los laboratorios de la ESPOCH. Por otro lado, también se realizó los procedimientos para determinar pH, Cenizas, humedad esto se realizó en los laboratorios de la UNACH.

Con los datos obtenidos se calcula su relación C/N para ello se necesita su composición en porcentaje de base seca de carbono y nitrógeno (C/N= %C/%N). Una vez

determinada su relación se formularon 4 sustratos que se compararon con el tratamiento control (ver tabla12).

Se elaboraron las unidades experimentales (bolsas de sustrato de 2 kg), a continuación, el sustrato se humectó por 24 horas en una solución de cal, urea y melaza con los porcentajes descritos en la tabla 12. hasta alcanzar una humedad optima del 70%. Una vez alcanzado el nivel óptimo de humedad se procede a la esterilización, para ello se utilizó la autoclave programada con una temperatura de 120°C con una presión de 20 psi por una hora.

Luego se realizó la inoculación de los sustratos con la cepa del hongo ostra inoculado previamente en granos de trigo. Para esto se partió de un sustrato comercial compuesto por aserrín enriquecido (ver tabla 12) que fue distribuido por la empresa “Fungí Andino” ubicada en Quito y se inoculó cada bolsa en una relación 100g / 1 Kg sustrato, para ello es necesario desinfectar con alcohol al 70% todos los materiales como: bandejas, balanza analítica, cámara de flujo aminar, bolsas etc. Además de utilizar EPP guantes, mascarilla, cofia. Para una inoculación eficaz se requiere una manipulación mínima del sustrato, para ello se opta por el método de mezclado total, que consiste en abrir la bolsa de sustrato y colocar el micelio inoculado en la superficie de la bolsa, y con movimientos circulares hacer que la semilla se disperse por toda la superficie o en su mayoría.

El espacio o lugar de inoculación del sustrato o colonización del micelio, se basa en el método de producción por bolsas y estanterías. Las cuales deben estar separadas de las paredes a unos 20 cm para evitar la contaminación, en el lugar se adecuo utilizando plástico oscuro en paredes y puertas con el fin de brindar condiciones necesarias para la fase de incubación, para controlar la temperatura y humedad se utilizó un termohigrómetro digital, el cual marca temperaturas y humedades máximas y mínimas, con la ayuda de un humificador y calefactor a gas se logró controlar de manera eficaz estos parámetros. El lugar de incubación debe ser limpiado y esterilizado con alcohol al 70% una vez a la semana.

Choque térmico, se eliminan los plásticos negros de las paredes y puertas permitiendo la entrada de luz, y aire circulante, la temperatura debe bajar de 15 a 20°C con una humedad del 80 a 90% en nuestro estudio se mantuvo en 20°C y 70% respectivamente. Esto con el fin de inducir a la fructificación la misma que tomo un periodo de tiempo medido en días de 30 en promedio.

Cosecha, se realiza cuando los hongos alcanzan su madurez esto se evidencia en los bordes de sus sombreros, si los bordes están cóncavos hacia abajo aun no alcanzan su madurez optima, cuando los bordes se encuentran cóncavos hacia arriba los hongos están muy maduros, pero se pueden cosechar y consumir. La madurez optima es cuando los bordes se encuentran alineados al sombrero es decir planos, para su almacenamiento se recomienda refrigerar o deshidratar, en nuestro caso los hongos fueron refrigerados y consumidos periódicamente.

3.1.3 Parámetros de evaluación

3.1.3.1 Productividad.

La productividad en el cultivo de hongos es un indicador clave que mide la eficiencia del sistema productivo, expresando la cantidad de hongos frescos obtenidos en relación con los recursos utilizados (sustrato, espacio, tiempo). Este parámetro es fundamental para evaluar la viabilidad económica, comparar sistemas de cultivo y optimizar procesos productivos, refleja la capacidad del sistema para convertir eficientemente el sustrato en biomasa fúngica comestible, considerando variables como la cepa utilizada, calidad del sustrato, condiciones ambientales y manejo técnico.

3.1.3.2 Rendimiento.

El rendimiento en el cultivo de hongos es un indicador de productividad que expresa la cantidad de biomasa fúngica fresca obtenida en relación con una unidad de referencia específica (superficie, sustrato, unidad productiva o tiempo). A diferencia de la eficiencia biológica que es un porcentaje, el rendimiento se expresa en unidades absolutas y permite comparaciones directas entre sistemas y evaluar la capacidad productiva real de una operación.

El rendimiento es crucial para la planificación de la producción, estimación de ingresos, dimensionamiento de instalaciones y análisis de viabilidad económica del cultivo de hongos, lo cual se calcula como el peso de hongos cosechados entre el peso de sustrato.

3.1.3.3 Eficiencia biológica.

La Eficiencia Biológica expresa qué porcentaje del peso seco del sustrato se convierte en peso fresco de hongos cosechados durante uno o más ciclos de fructificación.

$$E.B = (\text{peso fresco de hongos}/\text{peso seco del sustrato}) * 100$$

Este parámetro permite comparar objetivamente diferentes cepas, sustratos, condiciones de cultivo y sistemas de producción, independientemente de la escala o configuración del cultivo. La EB es fundamental para evaluar la viabilidad económica, optimizar procesos y tomar decisiones de manejo en la producción de hongos comestibles.

3.1.3.4 Características morfológicas.

En este apartado se evalúa diferentes variables como: tamaño de colonia, diámetro de sombrero, longitud del tallo. Para estas mediciones de tamaño es necesario la precisión y exactitud por ello se utilizó un calibrador pie de rey.

Número de cuerpos fructíferos, peso de hongos cosechados, días hasta la colonización, días hasta la cosecha. Los mismos que son evaluados en 4 mediciones ya que se logró realizar 4 etapas de cosecha o flushes.

Para recabar datos sobre el número de cuerpos fructíferos es necesario realizar una prueba visual acompañada de una bitácora en la cual se detallan por unidad los cuerpos fructíferos producidos en cada una de las bolsas.

El peso de los hongos frescos cosechados es de gran importancia para determinar el rendimiento y eficiencia biológica del sustrato, por ello se hará uso de una balanza analítica donde se pesó los cuerpos fructíferos cosechados en cada bolsa de sustrato.

De igual manera para determinar el tiempo de duración del ciclo total de producción se tomó en cuenta los días hasta la inoculación, días hasta la cosecha. En la cual se evidencia de forma visual el progreso de crecimiento micelial, y de carpóforos los mismos que son medidos en días y detallados en una bitácora de observación acompañados de evidencias fotográficas. Todas las variables mencionadas se desarrollaron en 4 etapas o ciclos de producción donde las bolsas de sustrato generaron 4 oleadas o flushes de hongos.

3.2 Diseño de investigación.

La formulación de sustratos se basa en el contenido de carbono y nitrógeno presentes en los residuos, el diseño experimental del estudio consistió en cuatro tratamientos más un control el mismo que consta de un sustrato comercial, compuesto por aserrín enriquecido (ver tabla 12) que fue distribuido por la empresa “Fungí Andino” ubicada en Quito. Las formulaciones de los sustratos evaluados se pueden evidenciar detalladamente en la tabla 12.

3.2.1 Técnicas de recolección de datos.

Se realizó un sondeo acerca de los residuos utilizados para elaborar el sustrato, bagazo de caña, aserrín de eucalipto. A su vez se aplicó una bitácora para describir y organizar los procedimientos de análisis de laboratorio utilizados para determinar características como pH, humedad, cenizas, carbono, nitrógeno, y materia orgánica. Además de sus datos productivos los cuales serán de vital importancia para determinar la viabilidad del sustrato elaborado.

Los análisis mencionados tuvieron tres repeticiones para cada residuo utilizado, esto para la caracterización de las materias primas. Para su valoración productiva se tomó en cuenta 4 tratamientos formulados y un tratamiento control en cual consta de un sustrato comercial. Las mismas constarán de 2 repeticiones en bolsas de 2 kg cada una.

3.2.2 Población de estudio

La población de estudio se contempla en las muestras obtenidas en torno a los residuos generados como el aserrín de eucalipto, bagazo de caña, melaza, urea y cal. Las mismas que provienen de actividades productivas como la industria maderera, subproductos de la industria azucarera.

3.2.3 Tamaño de muestra

Para la caracterización de las materias primas utilizadas en el sustrato se tomó una muestra representativa de 1 kg de cada uno de los residuos previamente secados (estufa), los cuales se analizaron con 3 repeticiones.

Las mismas que serán mezcladas según proporciones previamente formuladas en base a sus requerimientos nutricionales, obteniéndose 4 tratamientos y un tratamiento control con dos repeticiones, que dan lugar a 12 unidades experimentales cada una estará compuesta por 2 kg de sustrato que serán la mezcla de aserrín, bagazo de caña, cal, urea y melaza.

3.2.4 Materiales, equipos y reactivos.

En la tabla 9 se evidencia los materiales, equipos y reactivos requeridos para la elaboración y caracterización de las materias primas requeridas para elaborar el sustrato.

Tabla 8

Materiales equipos y reactivos.

Materiales	Equipos	Reactivos
crisoles de porcelana	balanza analítica	solución 1N de dicromato de
espátula	marca: Sartorius Scientifica.	potasio
vidrio reloj	estufa	solución 0,5 N de sulfato
erlenmeyer 100 ml	marca: mermmet	ferroso
bureta 100 ml	origen: España	ácido fosfórico al 85%
pipeta 10 y 5 ml	ph metro	ácido sulfúrico al 98%
marca: Getty	marca: HACH sension3	indicador difenilamina
origen: Alemania.	mufla	agua destilada
vaso de precipitación	marca: thermo scientific	hidróxido de sodio al 40%
50 ml	origen: Estados Unidos.	ácido bórico al 2 %
marca: Griffin		ácido clorhídrico 0,1N
origen: Italia		sulfato de potasio
		sulfato de cobre

3.3. Formulación para la elaboración de sustratos.

En la presente tabla 10 se describe las cantidades en kg de materiales que serán utilizados para la elaboración del sustrato, tomando en cuenta la relación C/N óptima para el crecimiento del hongo ostra.

Tabla 10

Formulación de sustratos.

Tratamiento	Peso (kg)	Porcentaje (%)	%C	%N	C/N	Descripción
T. control (T0)	1.8	92	44.31	0.50		Aserrín de eucalipto
	0	0	51.09	0.20		Bagazo de caña
	0.1	3	28	0.5	62.34	Melaza
	0.04	2	-	-		Cal
	0.1	3	42.56	1.5		Urea
T1	1.3	67	44.31	0.50		Aserrín de eucalipto

Tratamiento	Peso (kg)	Porcentaje (%)	%C	%N	C/N	Descripción
T2	0.5	25	51.09	0.20		Bagazo de caña
	0.1	3	28	0.5	85.64	melaza
	0.04	2	-	-		Cal
	0.1	3	42.56	1.5		Urea
	0.8	42	44.31	0.50		Aserrín de eucalipto
	1	50	51.09	0.20		Bagazo de caña
	0.1	3	28	0.5	111.13	Melaza
	0.04	2	-	-		Cal
	0.1	3	42.56	1.5		Urea
	0.3	17	44.31	0.50		Aserrín de pino
T3	1.5	75	51.09	0.20		Bagazo de caña
	0.1	3	28	0.5	144.63	Melaza
	0.04	2	-	-		Cal
	0.1	3	42.56	1.5		Urea
T4	0	0	44.31	0.50		Aserrín de eucalipto
	1.8	92	51.09	0.20		Bagazo de caña
	0.1	3	28	0.5	157.99	Melaza
	0.04	2	-	-		Cal
	0.1	3	42.56	1.5		Urea

3.3.1. Diagrama de proceso para la elaboración de sustrato.

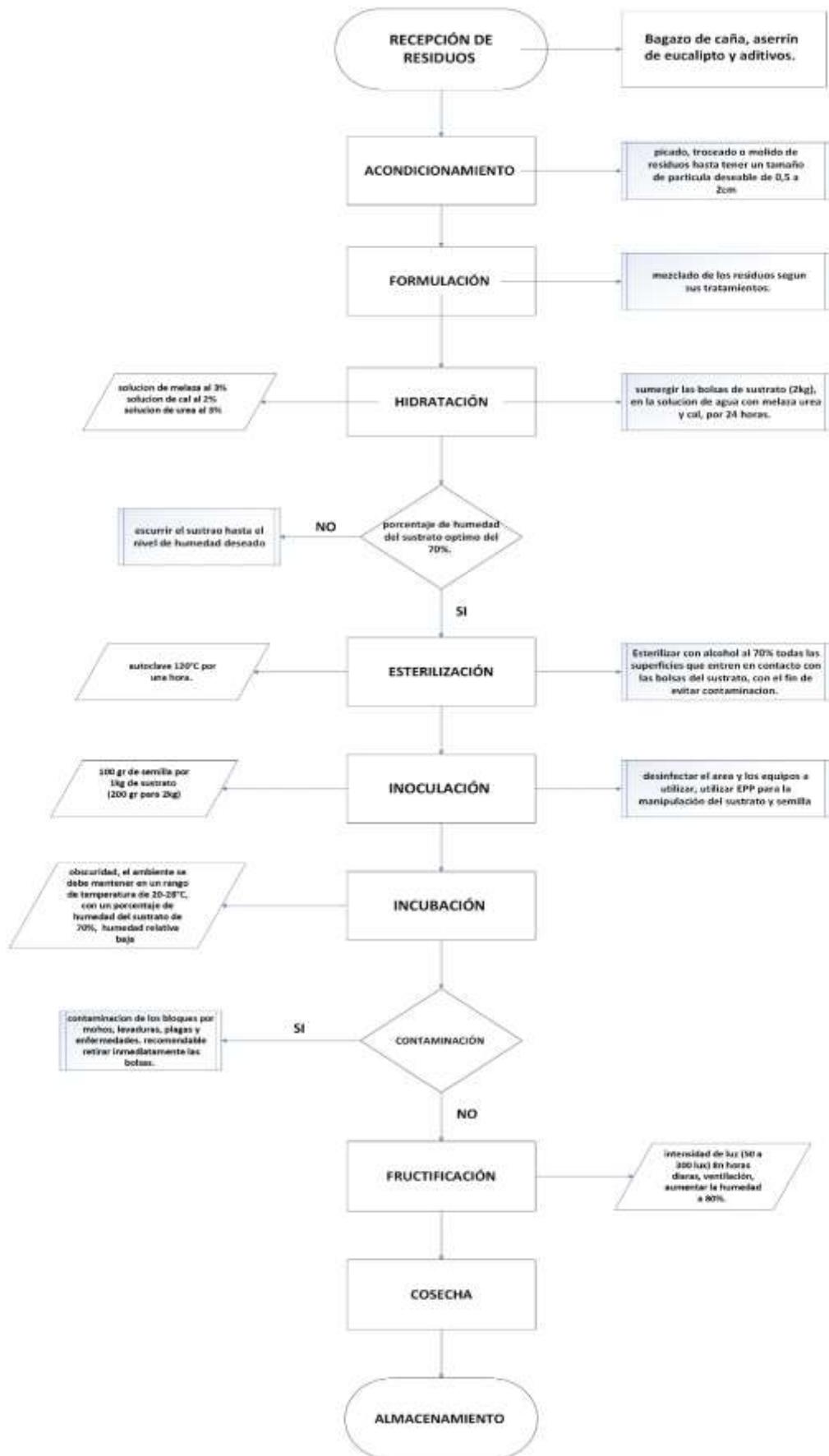


Figura 5: Diagrama de flujo

3.3.2 Descripción del diagrama de proceso para la elaboración del sustrato.

- **Recepción de residuos:** recepción de los materiales a utilizar, bagazo de caña, aserrín, melaza, urea, cal y demás insumos que se utilizará en las diversas formulaciones del sustrato.
- **Acondicionamiento:** es recomendable que el tamaño de partícula de los sustratos esté entre 0,5 a 2 cm de diámetro. Ya que, si tenemos un tamaño de partícula mayor se puede generar problemas de retención de agua dando como resultado un sustrato deshidratado. Además, si tenemos un tamaño de partícula menor a lo mencionado (0.5 a 2 cm) existirán problemas de aireación (falta de oxígeno) y compactación lo que ocasionará que el micelio se desarrolle lentamente o que se detenga su crecimiento.
- **Formulación:** mezcla todos los ingredientes de forma descendente, del material que constituya mayor cantidad al de menor cantidad dentro de la formulación, en la **tabla n°11**, se detalla de mejor manera las cantidades, porcentajes y requerimientos nutricionales en base a su relación C/N. Para este proceso será de gran utilidad una pala, plástico, recipientes (valdes o tanques).
- **Hidratación:** realizar una solución para 20 litros de agua en la cual se utiliza melaza, cal y urea al 3; 2 y 3 % respectivamente. Una vez realizada la solución en un recipiente adecuado, sumergir la mezcla del sustrato por 24 horas con la finalidad de enriquecer y desinfectar el sustrato. Al finalizar este proceso de hidratación se debe escurrir y dejar reposar el sustrato para estabilizar su nivel de humedad el cual debe ser del 70%.
- **Esterilización:** Este sustrato deberá ser tratado térmicamente de preferencia se deberá usar una autoclave la misma que será programada a una temperatura de 120°C por 1 hora con el fin de eliminar mohos, levaduras, larvas y microorganismos competidoras que afecten el crecimiento del hongo ostra, con este proceso se garantiza la inocuidad del sustrato. Una vez terminado el proceso de esterilizado retirar las bolsas de la autoclave y disponerlas en un lugar previamente desinfectado, dejar reposar los bloques de sustrato hasta que alcance una temperatura ambiente (25°C).
- **Inoculación:** una vez obtenido el micelio inoculado en semillas de trigo procedemos a acondicionar para la siembra en el sustrato estéril, desinfectamos las superficies de la cámara de flujo con alcohol al 70%. Se debe pesar 100 gr de micelio por cada kilogramo de sustrato, en este caso las bolsas de sustrato pesan 2 kg por ende se necesita 200 gramos de micelio, la forma de siembra debe ser lo más aseptico posible, además de evitar la manipulación excesiva del micelio a la hora de mezclar en el sustrato. Para ello se debe abrir la bolsa del sustrato y colocar los 200 gr de micelio, sacudir de manera leve la bolsa para que la semilla inoculada se expanda por todo el sustrato. Con este método el micelio crece de arriba hacia la base del bloque, el crecimiento del micelio se debe realizar en completa oscuridad con una temperatura óptima de entre 20-25°C, y humedad relativa de 70%, cuyo proceso dura alrededor de 15 a 20 días hasta obtener un sustrato firme y totalmente colonizado.

- **Control de temperatura y humedad:** al momento de la siembra y crecimiento vegetativo es necesario mantener una temperatura de 20 a 25°C, y una humedad relativa entre el 70%. para evaluar y controlar estos parámetros se hará uso de un termohigrómetro, medidor de pH, humedad, y un humificador o rociador de agua respectivamente.
- **Incubación:** Se realizará a los 25 días después de haber inoculado los sustratos. Se bajará la temperatura a 15 a 20 °C la cual permanecerá así hasta el final de la cosecha. Esta práctica mejorará la circulación de aire la cual será de gran importancia para el crecimiento de los primordios, ya que una alta concentración de CO2 puede inhibir el desarrollo de los cuerpos fructíferos.
- **Fructificación:** Una vez que se realizó el cambio de ambiente o acondicionamiento del entorno, los cuerpos fructíferos o primordios se desarrollan muy rápido, por la alta humedad que va desde 85-90%. Al cabo de 5 a 7 días se alcanza la madurez óptima para poder cosechar. se deberá realizar una pequeña torsión para extraer el hongo maduro del sustrato, manteniendo la mejor higiene posible.
- **Cosecha:** se deberá realizar una pequeña torsión para extraer el hongo maduro del sustrato, manteniendo la mejor higiene posible. Despues de haber extraido los hongos se deberá limpiar todo el resto de cuerpos fructíferos que hayan quedado impregnados en el bloque de sustrato.
- **Almacenamiento:** debido a su alto nivel de humedad la vida útil del hongo es muy corta. Por ello se debe tomar en cuenta varios procedimientos de conservación, en la tabla 11 se detalla los procedimientos y tiempos de vida útil que estos aportan para la conservación y almacenamiento de hongos.

Tabla 11

Métodos de almacenamiento.

Métodos de almacenamiento	Vida útil	Consideraciones
Refrigeración	5 a 7 días	Almacenar en bolsas de papel o recipientes plásticos, pero con ventilación, evitar la humedad y no lavar antes de almacenar.
Deshidratación	De 6 a más de 12 meses	Cortar uniformemente los hongos para garantizar una deshidratación óptima, a una temperatura óptima de 45°C.
Congelación	6 a 12 meses	Cocinar previamente para evitar quemaduras por la acción del frío y garantizar la textura y calidad, -10 a -15°C.
Empacado al vacío	Mayor a 1 año	Conlleva un proceso de esterilización y envasado al vacío en frascos.

3.4. Métodos de análisis para caracterización de materias primas.

En la tabla 12 se detalla los parámetros analizados para la caracterización de materias primas en conjunto con su descripción, medición, rangos permitidos, y métodos de análisis según sus normas vigentes.

Tabla 12

Parámetros analizados para la caracterización de materias primas

Parámetros	Descripción	Rango aceptable	Método de análisis
pH	el pH del sustrato es un factor crucial que influye en la disponibilidad de nutrientes, la actividad enzimática, el crecimiento microbiano y el desarrollo del micelio en la producción de hongos.	6.5-8	INEN 2 261:2013
Carbono	el carbono es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de los hongos. La materia orgánica del sustrato proporciona a los hongos una fuente de carbono, energía, soporte físico y ayuda a mantener un equilibrio microbiano.	25-30%	Método propuesto por Walkley black
Nitrógeno	El nitrógeno es esencial para el crecimiento de los hongos, ya que ayuda a la formación de proteínas, crecimiento óptimo, coloración del sombrero y firmeza del hongo.	1-1.5%	“método KJELDAHL” INEN 224
Humedad	Es importante mantener la humedad en el sustrato ya que el mismo ayuda al transporte de nutrientes, regula la temperatura, absorción de agua y denota una buena fructificación.	70-80%	AOAC 930.15
Materia orgánica	Aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes para el crecimiento del hongo.	20-30%	Método gravimétrico INEN 14240
Temperatura	La temperatura es crucial para el crecimiento y desarrollo de los hongos ya que la misma afecta a la velocidad de las reacciones químicas que ocurren en su organismo.	15-25°C	
Cenizas	Aporta minerales, ajusta el pH, mejora la estructura del sustrato, ayuda a evitar enfermedades.	1-5%	AOAC 923.03

3.4.1. Métodos y procesamiento de datos.

Los datos obtenidos en el experimento a lo largo del tiempo para los diversos parámetros medidos fueron sometidos a análisis de:

Normalidad: Se usó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar normalidad en cada grupo.

Homogeneidad de varianzas: Se usó la prueba de Levene o Bartlett para verificar que las varianzas son similares entre tratamientos.

Luego de verificar el cumplimiento de estos análisis, se realizó un ANOVA de medidas repetidas en cada una de las mismas unidades experimentales a lo largo del tiempo. El modelo incluyó:

- Factor entre sujetos: Tratamiento (T0, T1, T2, T3, T4)
- Factor intra-sujetos: Etapa de cosecha (1, 2, 3, 4)
- Interacción: Tratamiento × Etapa.

Este análisis sirve para determinar si los tratamientos difieren en su comportamiento productivo a lo largo del tiempo.

A continuación, también se realizó un ANOVA unifactorial para variables acumulativas con Tukey como prueba post-hoc para identificar como difieren los tratamientos.

Se calcularon variables como la productividad total, rendimiento total o eficiencia biológica global, sumando todas las etapas.

Además del ANOVA se realizó un MANOVA para evaluar las relaciones entre las variables TRATAMIENTO VS ETAPA DE PRODUCCIÓN

Para el análisis económico se utilizó la herramienta digital de Excel que permitió organizar todos los gastos y costos por medio de tablas para determinar indicadores como, costo de materiales, costo de materiales auxiliares, mano de obra, costo por bolsa de sustrato 2 kg, costo por 100 kg de sustrato producido.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos del proyecto de investigación Aprovechamiento de residuos agroindustriales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como sustrato para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Se desarrollaron diversas formulaciones de sustratos considerando parámetros fisicoquímicos clave como la relación C/N, contenido de materia orgánica, pH, humedad y cenizas, utilizados en la formulación para un sustrato, con el objetivo fue identificar el tratamiento más eficiente para el cultivo de *P. ostreatus*, evaluando diversas variables productivas (rendimiento, eficiencia biológica, productividad y morfológicas (tamaño de sombrero, longitud del tallo, tamaño de colonia, gramos de hongos cosechados, numero de cuerpos fructíferos por etapa o cosecha)

4.1.1 Resultado de la caracterización de materias primas.

En la tabla 13 se denotan los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas necesarias para la formulación del sustrato.

Tabla 13

Análisis de la caracterización del bagazo de caña.

Tratamiento	%Humedad	%Cenizas	pH	Carbono	Nitrógeno	M. orgánica
Bagazo de caña	56.60	0.40	3.50	51.09	0.20	98.25
Bagazo de caña	57.30	0.85	3.50	49.50	0.30	98.29
Bagazo de caña	56.60	0.70	3.60	50.30	0.20	98.50
media	56.83	0.65	3.53	50.3	0.23	98.35
desv	1.4063	0.0284	0.612	0.6327	0.0404	7.3235

El bagazo de caña presenta los resultados de sus análisis: en cuestión de materia orgánica aprovechable para el hongo ostra con una media de 98.35%, un pH bajo el cual deberá ser ajustado con cal, porcentaje mineral (cenizas) relativamente más bajo que el aserrín, además de contar con una buena retención de humedad, la relación entre C/N del bagazo de caña es de 15:1. Además, los datos calculados de la desviación estándar describen un valor inferior al 5%, la cual verifica la homogeneidad de los datos.

Otro de los materiales utilizados en la elaboración del sustrato es el aserrín de eucalipto el cual se sometió a las mismas pruebas que se realizaron para el bagazo de caña, sus resultados se demuestran en la tabla 14.

Tabla 14*Resultado de la caracterización del aserrín de eucalipto*

Tratamiento	% Humedad	% Cenizas	pH	Carbono	Nitrógeno	M. orgánica
Aserrín	29.80	0.83	4.60	44.31	0.50	92.81
Aserrín	26.10	0.72	4.60	43.00	0.50	97.64
Aserrín	29.28	0.80	4.90	43.80	0.40	95.30
Media	28.39	0.78	4.7	43.70	0.47	95.25
Desv	0.1418	0.1378	0.2714	0.66	0.0808	0.3943

Los resultados revelan un contenido promedio de materia orgánica de 95.25%, valor de vital importancia para facilitar la colonización del micelio en el sustrato. Asimismo, se observan valores adecuados en la relación carbono/nitrógeno (C/N de 93:1), la cual, aunque elevada, puede ajustarse mediante suplementación nitrogenada apropiada.

La confiabilidad de los datos se confirma mediante la desviación estándar obtenida, inferior al 5% en la mayoría de los parámetros analizados, lo que demuestra la homogeneidad de los resultados.

4.2. Resultado para variables productivas.

Se realizó el cálculo del ANOVA, en el cual se puede evidenciar los resultados obtenidos para las variables productivas como: rendimiento, eficiencia biológica y productividad del sustrato, la cual se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15*Resultado del anova para variables productivas*

Tratamiento	Productividad (%)	Rendimiento (%)	Eficiencia Biológica (%)
T0 (CONTROL)	16 ab	21 ab	143ab
T1	14 ab	19 ab	132 ab
T2	10 a	13 a	89 a
T3	24 b	27 b	184 b
T4	20 ab	29 b	194 b

Nota: productividad $F=5.76$ $p<0.01$, rendimiento $F=4.3$ $p<0.028$, eficiencia biológica $F=4.3$ $p<0.028$

El resultado del anova univariante en cuestión a las variables de productividad, eficiencia biológica, y rendimiento generan diversos grupos en los cuales destacan:

Productividad: tratamiento 0 (control), T1, T4 sus resultados son similares es decir no existe diferencia. Tratamiento 2 en cuestión de productividad resulta ser el peor con tan solo el 10%, el tratamiento con mejor resultado evidente es el Tratamiento 4 que alcanza el 24%.

Rendimiento: de igual manera los tratamientos que no generan varianza son los tratamientos 0 (control) y T1. En este apartado al igual que todos se requiere que su variable

resulte ser la más alta, por ello el tratamiento 3 y 4 generan esos resultados con 27 y 29% respectivamente.

Eficiencia Biológica: tratamiento 0 (control) y T1 compiten con buenos resultados en esta variante, sin embargo. El tratamiento T3 logra un mejor nivel de eficiencia biológica con 194 %, con su competidor más cercano el tratamiento 4 con 184%. Por su contraparte el peor tratamiento es el T2 con un valor de 89%.

4.3 Resultado para variables morfológicas.

Las variables morfológicas determinan la calidad de las setas que serán comercializadas las cuales por cuestión de tamaño son de mayor aceptabilidad en el mercado, por ello los resultados se determinan en la tabla 16

Tabla 16

Resultado anova para variables morfológicas

Tratamiento	Diámetro de colonia (cm)	Longitud del tallo (cm)	Diámetro de sombrero (cm)	Diámetro sombrero promedio (cm)	Número de cuerpos fructíferos	Gramos (gr)
T0	37 a	2 a	12 a	3.10 a	45 ab	430 ab
T1	54 ab	3 ab	13 a	3.17 a	40 ab	395 ab
T2	50 ab	3 ab	14 a	3.56 a	33 a	266 a
T3	54 ab	3 b	16 a	3.82 a	50 b	552 b
T4	65 b	2 a	17 a	4 a	43 ab	581 b

Nota: Diámetro de sombrero $F=2.96$ $p<0.07$, longitud de tallo $F=4.85$ $p<0.019$, diámetro de sombrero $F=2.98$ $p<0.073$, diámetro de sombrero promedio $F= 3$ $p<0.073$, numero de cuerpos fructíferos $F= 3.44$ $p<0.005$, gramos de hongos cosechados $F=4.03$ $P<0.028$

Los resultados de las variables morfológicas medidas, denotan que el tratamiento con mejores valores son el T3, seguido del tratamiento T4 que es superior en las mediciones del diámetro de colonia y diámetro de sombrero, el cual lo hace muy competitivo. Los tratamientos control T0 y T1 no tienen resultados desastrosos, sin embargo, no resultan ser viables, pero tampoco se los puede descartar para una futura reformulación. A excepción del tratamiento T2 la cual obtiene en todas sus variables las peores mediciones.

4.4 Resultado de los días del ciclo productivo.

El tiempo de producción entre cosechas o flushes en un sistema productivo de hongos es determinante, mientras menor sea el tiempo de inoculación, fructificación y cosecha se puede decir que el sistema y sustrato son eficientes.

Para ello se midió los días entre ciclo productivo dividido en las 4 etapas de cosecha cuyos resultados se observan en la tabla 17

Tabla 17*Resultado anova para los días del ciclo productivo*

Tratamiento	Días de ciclo productivo	Media de días
T0 (CONTROL)	100 ab	25ab
T1	109 bc	27 bc
T2	104 b	26 b
T3	92 a	23 a
T4	114 c	28 c

Nota: Días de ciclo productivo F=20.51 p<0.01, media de días F=20.51 p<0

Dentro de la producción de hongos, el tiempo es uno de los factores cruciales para determinar la viabilidad de un sistema productivo, es por ello que, a menor tiempo de colonización y fructificación la productividad del sistema llega a ser eficiente.

Por ello según los resultados analizados se puede concluir que el tratamiento 3 (T3) obtiene el menor tiempo de todo el ciclo productivo 92 días lo que podemos denotar que cada ciclo o flushes conlleva un tiempo de 23 días. Seguido del tratamiento 0 (control) que obtiene un periodo de 100 días en todo su ciclo productivo. El tratamiento 1 y 2 obtienen resultados similares en un rango de 104 a 109, por otra parte, el tratamiento 4 que ha sido uno de los más competitivos en este apartado obtiene el tiempo más alto con 114 días de duración del ciclo.

4.5 Análisis de costos.

Este análisis compara la viabilidad económica de 5 formulaciones de sustratos para el cultivo de hongos ostra (*Pleurotus ostreatus*): una basada en el sustrato comercial distribuido por la empresa “Fungí Andino” el cual consta de aserrín de eucalipto suplementado y otras 4 que integran bagazo de caña de azúcar en su formulación.

Se evaluaron costos de materias primas que se utilizaron para la elaboración del sustrato, la misma que se detalla en la tabla 18

Tabla 18*Costos de materia prima*

Tratamientos	Materiales	Cantidad (Kg)	Costo (kg)	Costo total (\$)
T0 (CONTROL)	Aserrín	92	1.7	156.4
	Urea	3	0.45	1.35
	Melaza	2	0.35	0.7
	Cal	3	0.2	0.6
	semilla	2	4	8
T1	Aserrín	67	1.7	113.9
	bagazo de caña	25	0.04	1
	Urea	3	0.45	1.35
	Melaza	2	0.35	0.7

Tratamientos	Materiales	Cantidad (Kg)	Costo (kg)	Costo total (\$)
T2	Cal	3	0.2	0.6
	Semilla	2	4	8
	aserrín	42	1.7	71.4
	bagazo de caña	50	0.04	2
	urea	3	0.45	1.35
	melaza	2	0.35	0.7
	cal	3	0.2	0.6
T3	semilla	2	4	8
	aserrín	17	1.7	28.9
	bagazo de caña	75	0.04	3
	urea	3	0.45	1.35
	melaza	2	0.35	0.7
	cal	3	0.2	0.6
	semilla	2	4	8
T4	bagazo de caña	92	0.04	3.68
	urea	3	0.45	1.35
	melaza	2	0.35	0.7
	cal	3	0.2	0.6
	semilla	2	4	8

Nota: la semilla es el micelio del hongo ostra inoculado en granos de trigo.

El análisis propuesto para los costos de materias primas determina que el aserrín es un material que en grandes cantidades genera un mayor costo en el caso del tratamiento 0 (control) o sustrato comercial. Además, se determina una constante en los aditivos para suplementar este sustrato. Cabe recalcar que el bagazo de caña representa un menor costo con respecto al aserrín.

Para un mejor entendimiento de los costos de materias primas se determina un análisis de costos para la producción de 100 kg (50 bolsas de sustrato) y 2 kg (una bolsa de sustrato). La misma que es detallada en la Tabla 19

Tabla 19

Costos totales de materias primas

Tratamientos	costos 100 kg	costos para 2 kg
T0	167.05	3.34
T1	125.55	2.51
T2	84.05	1.68
T3	42.55	0.85
T4	14.33	0.29

Se detalla los costos totales de materias primas para la elaboración de 100kg de sustrato donde se evidencia que el tratamiento 0 es el mayor con 167.05 \$ con respecto al de menor costo (tratamiento 4) que se puede definir que el uso del bagazo de caña con relación al aserrín es determinante a la hora de evaluar los costos de producción.

Además de los costos de materias primas es importante denotar los costos indirectos para la producción o fabricación del sustrato, por consiguiente, en la tabla 20 se expone dichos costos.

Tabla 20

Costos indirectos y mano de obra.

Concepto	Medida	Cantidad	Valor unitario	valor mensual
Agua	m ³	50	0.3	15
Electricidad	kWh	120	0.09	10.8
Mano de obra	h	40	2.3	92
total				117.8

El total del costo indirecto en conjunto con la mano de obra da un resultado de 117,8\$ este valor es mensual.

Tabla 21

Costos de materias primas auxiliares.

Materiales	Medida	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Bolsas de polietileno	unidad	50	0.2	10
Recipientes	unidad	3	5	15
Pala	unidad	1	5	5
Etiquetas	unidad	50	0.02	1
total				31

Estos son materiales indispensables para el manejo de las materias primas, desde la mezcla de materiales hasta la etapa de cosecha.

Ahora se necesita conocer cual es el costo total de producción del sustrato para evaluar y determinar que formulación es viable en cuestión a la disminución de costos de producción con relación al tratamiento 0 (control o sustrato comercial), estos parámetros se determinan en la tabla 22

Tabla 22

Costos de producción para 100 kg de sustrato

	T0	T1	T2	T3	T4
Costos para 100 kg	167.05	125.55	84.05	42.55	14.33
Costos indirectos	25.80	25.80	25.80	25.80	25.80
Mano de obra	92	92	92	92	92
Materias auxiliares	31	31	31	31	31
total	315.85	274.35	232.85	191.35	163.13

Se evaluaron todos los costos relevantes para determinar el valor final en la producción de sustratos que serán elaborados en 30 días, puesto que los procesos se realizan de manera artesanal. Aun así, se debe tomar en cuenta el nivel de rendimiento que obtuvieron estos sustratos en la producción de hongos.

A su vez se necesita también detallar cual será el costo de producción del sustrato para una bolsa o 2 kg, la misma que se evidencia en la tabla 23.

Tabla 23

Costo total de producción para 2kg de sustrato.

	T0	T1	T2	T3	T4
Costos para 2 kg	3.34	2.51	1.68	0.85	0.29
Costos indirectos	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
Mano de obra	3	3	3	3	3
Materias auxiliares	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Costo de venta (empresa)	5.41	-	-	-	-
total	13.62	7.38	6.55	5.72	5.16

Nota: El tratamiento 0 (control) es el sustrato comercial por ende el valor de adquisición sube relativamente con respecto a los sustratos elaborados para esta investigación.

Ahora bien, el resultado es alentador con respecto a la comparación de costos de producción de sustratos por 2kg elaborados, donde el de mayor valor es el tratamiento 0, seguido del tratamiento 1 (7.38\$), a finalizar el análisis de costos se puede observar que el tratamiento 3 y 4 son los que necesitan menor valor de inversión para la elaboración de cada bolsa de sustrato.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- Se analizó el bagazo de caña y se obtuvieron los siguientes valores para cada parámetro: humedad 56.83%, pH 3.53, cenizas 0.65%, Carbono 50.3%, nitrógeno 0.23%, materia orgánica 98.35%.
- Se formularon diversos sustratos con bagazo de caña y aserrín de eucalipto donde todas las formulaciones presentan 8% de suplemento en urea, melaza y cal, Se determinaron las características físico químicas de los sustratos formulados del bagazo adecuadas para el cultivo de hongo ostra, se propusieron relaciones C/N entre 62:1 y 157:1 en las distintas formulaciones y se valuó el potencial de estos sustratos en comparación con uno comercial.
- Se evaluaron los parámetros: productividad, rendimiento, eficiencia biológica, y características morfológicas, los resultados mostraron que el tratamiento T3 con una relación 144:1 supera por mucho al sustrato comercial. Los (Tratamiento 3 y 4) generan características excepcionales en cuestión de rendimiento (27% a 29%), eficiencia biológica (184% a 194%), productividad (24% a 20%) y características morfológicas entre ellas los más determinantes el peso de hongos cosechados (552 g a 581 g por kilogramo de sustrato) y tiempo entre ciclos (23 a 29 días). lo cual evidencia su viabilidad como alternativa sostenible a los sustratos convencionales.
- Los tratamientos 3 y 4 en la mayoría de las variables estudiadas son superiores al sustrato comercial o tratamiento control revisar tabla 20,21 y 22 de igual manera existen sustratos donde su composición no es viable ya que en la mayoría de las pruebas nos arrojan datos relativamente bajos como es el caso del tratamiento 2 lo cual nos advierte que una mezcla de aserrín y bagazo con porcentajes iguales no resulta ser la mejor opción. Esto sugiere que los sustratos suplementados con bagazo de caña pueden competir favorablemente con sustratos convencionales y comerciales presentes en el mercado.
- Para producir una bolsa de sustrato (tratamiento 4) se necesita de 5.16 \$. Lo cual es moderadamente conveniente puesto que el sustrato comercial listo para fructificar tiene un precio de 13.62 \$. Los hongos ostra en el mercado tiene un precio de 15\$ por kg (1.5\$ por 100 gramos de hongos frescos), en nuestro estudio el mejor rendimiento en cuestión de peso de hongos fue el Tratamiento 4 con un valor de 581 g contrastando con los valores del mercado podemos obtener 8.7\$ con una inversión de 5.16 donde se obtiene una utilidad de 3.55\$, comparado con el tratamiento control se obtiene 430 g (6.45\$ - 13.62= 8.62\$) un déficit de 7.17\$.
- Esto representa una oportunidad para valorizar un residuo agroindustrial como es el bagazo de caña, contribuyendo simultáneamente a la seguridad alimentaria, diversificación del sistema productivo y economía circular.

5.2 Recomendaciones.

- Incentivar a la realización de trabajos de investigación que solucionen problemas reales a la situación social, ambiental y económica. Dado el caso con investigaciones que profundicen el aprovechamiento de residuos generados por la industria los cuales pueden tener muchos beneficios no solo en cuestión de generación de sustratos, en si se puede crear diversos usos en todos los campos.
- En cuestión al bagazo de caña según los resultados obtenidos se evidencia un alto porcentaje de materia orgánica (carbono, lignina, celulosa), lo cual puede ser aprovechable en diversos usos, que gracias a la investigación se puede generar aplicaciones de gran impacto.
- En la elaboración de sustratos más aun con el bagazo de caña se recomienda tener maquinaria necesaria para el troceado ya que por su naturaleza dura y fibrosa es necesario utilizar maquinas trituradoras con el fin de ahorrar tiempo y mano de obra. Es de igual importancia el espacio para la mezcla de los residuos, la limpieza y desinfección de materiales usados es de vital importancia para evitar contaminación a la hora del mezclado.
- Las fases críticas en este tipo de estudios son la esterilización, inoculación, fructificación y manejo del ambiente, para lo cual se recomienda el uso estricto de equipos de protección personal guantes, mascarilla, mandil, cofia y materiales de limpieza como alcohol, desinfectante los cual debe estar al alcance en todo el proceso. La limpieza y desinfección del lugar donde se colocan las bolsas debe ser periódica con el fin de evitar la proliferación de insectos.
- En el caso de presentar contaminación en las bolsas ya sea por moho, Trichoderma, o moscas alrededor del sustrato. Se recomienda el uso de peróxido de hidrogeno al 3% la cual debe ser inyectada en la zona afectada, en el caso de moscas se debe colocar cintas atrapamoscas. Aunque es de vital importancia aislar la bolsa en un lugar lejano con el fin de evaluar su comportamiento.

BIBLIOGRÁFIA

- Achupallas, V., & Amaya, L. (2023). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094828>
- Agroequipos. (2018). *Sustratos agricolas y sus propiedades*. Obtenido de <https://www.agroequipos.com.mx/node/1687#:~:text=Un%20sustrato%20es%20todo%20material,intervenir%20o%20no%20en%20la>
- Aguirre, C. P. (2010). *jugo de caña de azucar envasado en vidrio*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13596/1/Jugo%20de%20Ca%c3%b1a%20de%20az%c3%bacar%20envasado%20en%20vidrio.pdf>
- Aromas & Boleto. (2025). *Utilidades del hongo ostra*. Obtenido de <https://boletosdeorum.pt/es/producto/hongo-pleurotus-ostreatus-seco/>
- Baena, A. (2005). Aprovechamiento del bagazo de maguey verde (agave salmania) de la agroindustria del mezcal en san luis potosi para la producción de hongo ostra (pleutorus ostreatus). Obtenido de <http://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1010/989>
- Barba, & López. (2017). *guia practica para el cultivo de setas*. Centro Ecuatoriano De Biotecnología Ambiental.
- Calderón, S., & Cevallos. (2001). *Los sustratos*. Bogotá: Revistas del Dr. Calderon.
- CINCAE. (2021). *producción de residuos en la industria azucarera*. CINCAE. Obtenido de <https://cincae.org/wp-content/uploads/2022/06/Informe-Anual-2021.pdf>
- Fernández, F. (2004). Guia practica de produccion de setas. Obtenido de <http://www.fungitec/guiapracticadeproducciondesetas.pdf>.
- Flores, A., & Contreras, M. (2018). Obtenido de http://huertofenologico.filos.unam.mx/files/2017/05/Cultivo_de_hongo_seta.pdf
- Fund, E. B., CEER, Asobanca, & ONU. (2021). *guía para el cultivo de caña de azúcar*.
- Galarza, N. (2017). *composición morfológica del bagazo*. Atenea ediciones investigativas.
- Gonzales, M., Suaréz, E. G., Morales, V. G., & Albernas, Y. (2013). *impacto de la integración de los procesos de azúcar y derivados*. tecnología química .
- Hernandez, G., Merlo, P., & G, M. (2006). Manual práctivo de cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. . *Instituto de ecología A.C* , 56.
- INEC. (2022). *encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC*. licencia creative commons 4.0 internacional . Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Ingrid, M. (2024). *evaluacion de los residuos agricolas y de poda de la estacion experimental Tunshi como sustrato para la produccion de hongo ostra* . riobamba .
- Loor, C. A. (2020). *Analisis del mercado para la comercialización de productos derivados de la caña de azucar*. universidad san gregorio , Portoviejo . Obtenido de <http://repositorio.sangregorio.edu.ec:8080/handle/123456789/1495>
- MAG. (2015). *Ministerio de Agricultura Ganaderia* . Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/canicultores-de-sulupali-produciran-panela-en-planta-implementada-por-el-mag/>

- Ministerio de agricultura y Ganaderia . (2022). *luego de 7 años aumenta el precio por tonelada de caña de azúcar.* MAG. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/luego-de-siete-anos-aumenta-el-precio-de-la-tonelada-de-cana-de-azucar/>
- Muñoz, R. (2018). *cultivo de champiñones.* CAMAGRO .
- Palma, J. (2015). *subproductos de caña de azúcar.* engormix. Obtenido de https://www.engormix.com/lecheria/cana-azucar-subproductos-nutricion-bovina/subproductos-cana-azucar_a32177/
- Pellerano, E. (2019). *composición química del bagazo .* Matreox ediciones investigativas.
- Pierre, J. (2018). *composición química de la caña de azúcar .* Metro ediciones investigativas .
- Raúl, F., Radium, A., Anguie, F., & Calero, S. (2016). *STUDIO SOBRE LAS POTENCIALIDADES DE ASERRÍN COMO MATERIA PRIMA EN LA INDUSTRIA FORESTAL EN GUAYAQUIL, ECUADOR.* Obtenido de <http://orcid.org/0000-0001-6106-8576>
- Rico, J. (2016). *Más bagazo de caña de azúcar en el etanol europeo.*
- Rivera, A. (2011). *Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel.* ingeneiría, investigación y tecnología. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000200008&lng=es&tlang=es.
- Silva, B. (2009). Manual de cultivador de hongos ostra pleurotus ostreatus. 1-12; 45-48.
- Soledispa, X., Zea, C., Osejos, A., & Delgado, H. (2019). *Modelo de comercialización para las potencialidades productivas de los derivados de caña de azúcar.* revista científica dominio de las ciencias.

ANEXOS

Anexo A. Pruebas de normalidad en variables estudiadas.

Resultado de la prueba de normalidad en las variables.

Pruebas de normalidad							
		Kolmogorov-					
		Smirnov				Shapiro-Wilk	
TRATAMIENTO	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
G. COSECHADOS	T0	,281	12	,010	,781	12	,060
	T1	,313	12	,002	,824	12	,058
	T2	,222	12	,104	,841	12	,078
	T3	,214	12	,133	,884	12	,099
	T4	,185	12	,200*	,905	12	,184
PRODUCTIVIDAD(g/d)	T0	,127	12	,200*	,941	12	,508
	T1	,273	12	,014	,828	12	,040
	T2	,240	12	,054	,826	12	,079
	T3	,220	12	,113	,887	12	,108
	T4	,193	12	,200*	,838	12	,086
RENDIMIENTO	T0	,281	12	,010	,781	12	,060
	T1	,313	12	,002	,824	12	,058
	T2	,222	12	,104	,841	12	,098
	T3	,214	12	,133	,884	12	,099
	T4	,185	12	,200*	,905	12	,184
EFICIENCIA	T0	,281	12	,010	,781	12	,060
BIOLOGICA	T1	,313	12	,002	,824	12	,078
	T2	,222	12	,104	,841	12	,088
	T3	,214	12	,133	,884	12	,099
	T4	,185	12	,200*	,905	12	,184
	DIAS	,190	12	,200*	,876	12	,077
DM COLONIA	T1	,218	12	,120	,803	12	,060
	T2	,174	12	,200*	,868	12	,062
	T3	,210	12	,151	,883	12	,094
	T4	,318	12	,002	,789	12	,070
	T0	,156	12	,200*	,979	12	,978
LONG TALLO	T1	,184	12	,200*	,942	12	,520
	T2	,241	12	,052	,908	12	,204
	T3	,182	12	,200*	,918	12	,267
	T4	,216	12	,126	,911	12	,220
	T0	,195	12	,200*	,961	12	,795
DIAM SOMBRE	T1	,173	12	,200*	,899	12	,155
	T2	,172	12	,200*	,955	12	,711
	T3	,230	12	,078	,881	12	,091
	T4	,153	12	,200*	,955	12	,716
	T0	,130	12	,200*	,936	12	,444
DIAM SOMBRE	T1	,162	12	,200*	,929	12	,369
	T2	,110	12	,200*	,970	12	,913
	T3	,215	12	,130	,874	12	,074

Nº C FRUCTIFERO	T4	,159	12	,200*	,954	12	,690
	T0	,204	12	,178	,904	12	,178
	T1	,167	12	,200*	,916	12	,254
	T2	,153	12	,200*	,957	12	,733
	T3	,157	12	,200*	,922	12	,307
	T4	,203	12	,187	,905	12	,185

Se realizo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para todas las variables estudiadas las mismas que son descritas en la tabla 24, donde se puede determinar que los tratamientos 0 (control), tratamiento 1, tratamiento 2, tratamiento 3, tratamiento 4. Muestran un valor $p > 0.05$ del nivel de significancia por lo tanto se concluye que los datos evaluados en cada tratamiento siguen una distribución normal.

Anexo B. Prueba de homogeneidad.

Previo al análisis de varianza (ANOVA), se pretende verificar el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, para validar este supuesto se requiere que el valor p sea mayor a 0.05 los resultados de este análisis se exponen en la tabla 25

Tabla 25

Resultados de la prueba de homogeneidad

Prueba de homogeneidad de varianza					
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
G. COSECHADOS	Se basa en la media	1,104	4	55	,364
	Se basa en la mediana	,589	4	55	,672
PRODUCTIV (g/d)	Se basa en la media	2,207	4	55	,080
	Se basa en la mediana	1,287	4	55	,286
RENDIMIENTO	Se basa en la media	1,104	4	55	,364
	Se basa en la mediana	,589	4	55	,672
EFICIENCIA	Se basa en la media	1,104	4	55	,364
	Se basa en la mediana	,589	4	55	,672
BIOLOGICA	Se basa en la media	1,104	4	55	,364
	Se basa en la mediana	,589	4	55	,672
DIAS	Se basa en la media	5,297	4	55	,061
	Se basa en la mediana	2,082	4	55	,096
DM COLONIA	Se basa en la media	3,344	4	55	,076
	Se basa en la mediana	2,261	4	55	,074
LONG TALLO	Se basa en la media	1,840	4	55	,134
	Se basa en la mediana	1,557	4	55	,199
DIAM SOMBRE	Se basa en la media	1,058	4	55	,386
	Se basa en la mediana	,832	4	55	,511
N° C FRUCTIFERO	Se basa en la media	4,924	4	55	,082
	Se basa en la mediana	2,920	4	55	,079

La prueba de Levene para homogeneidad de varianzas (Tabla 16) reveló que todas las variables productivas y morfológicas evaluadas cumplieron con el supuesto de homocedasticidad. Ya que los valores de significancia obtenidos en cada variable analizada durante todas las etapas de producción indican que no existen diferencias significativas entre las varianzas de los grupos experimentales ($p > 0.05$).

Anexo C. Resultados del análisis MANOVA multivariante.

Para evaluar el efecto de los diferentes tratamientos sobre las características productivas y morfológicas del cultivo, se realizó un análisis de varianza multivariante (MANOVA). Este análisis permite examinar simultáneamente múltiples variables dependientes, considerando las correlaciones existentes entre ellas, lo que proporciona una visión integral del comportamiento del sistema bajo estudio.

En la tabla 26 se detalla las medias estimadas para cada combinación.

Tabla 26

Análisis multivariante tratamiento/etapa variable rendimiento

TRATAMIENTO * ETAPA (RENDIMIENTO)			
TRATAMIENTO	ETAPA	Media	Desv. Error
CONTROL	1	,110	,015
	2	,046	,011
	3	,034	,007
	4	,024	,003
TRATAMIENTO 1	1	,074	,015
	2	,059	,011
	3	,037	,007
	4	,028	,003
TRATAMIENTO 2	1	,051	,015
	2	,038	,011
	3	,025	,007
	4	,018	,003
TRATAMIENTO 3	1	,091	,015
	2	,089	,011
	3	,052	,007
	4	,045	,003
TRATAMIENTO 4	1	,105	,015
	2	,083	,011
	3	,058	,007
	4	,045	,003

Una vez evaluados los parámetros de rendimiento, se evidencia que el tratamiento 3 (T3) presenta una ventaja competitiva notable frente a los demás tratamientos. Este desempeño superior se atribuye a que la formulación del sustrato proporciona un aporte nutricional estable y disponible durante un período prolongado, lo cual favorece el desarrollo sostenido del cultivo.

El tratamiento 4 (T4) constituye la alternativa más cercana en términos de viabilidad, alcanzando incluso niveles de rendimiento superiores a T3 en la fase inicial. Sin embargo,

presenta una disminución progresiva más pronunciada en su productividad, lo que sugiere un agotamiento más rápido de los nutrientes disponibles o menor estabilidad del sustrato a lo largo del tiempo.

Por el contrario, el tratamiento 2 (T2) exhibe el desempeño más deficiente, caracterizado no solo por los valores de rendimiento más bajos del experimento, sino también por una tendencia descendente marcada que evidencia limitaciones en la capacidad nutricional del sustrato para mantener la producción.

Estos resultados indican que la composición y balance nutricional del sustrato son factores determinantes en la productividad sostenida del cultivo, siendo T3 la formulación óptima por combinar rendimiento elevado con estabilidad temporal.

Anexo D. Prueba de homogeneidad para la variable de rendimiento.

El cumplimiento de este supuesto asegura que las diferencias detectadas sean atribuibles al efecto experimental y no a variabilidad desigual entre grupos. Por ello los resultados de este análisis se detallan en la tabla 27

Tabla 27

Prueba de homogeneidad

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error					
		Estadístico			
		de Levene	g11	g12	Sig.
RENDIMIENTO_Etapa1	Se basa en la media	2,234	4	10	,138
	Se basa en la mediana	,909	4	10	,495
RENDIMIENTO_Etapa2	Se basa en la media	3,232	4	10	,060
	Se basa en la mediana	,475	4	10	,754
RENDIMIENTO_Etapa3	Se basa en la media	2,158	4	10	,148
	Se basa en la mediana	,161	4	10	,953
RENDIMIENTO_Etapa4	Se basa en la media	2,333	4	10	,126
	Se basa en la mediana	,192	4	10	,937

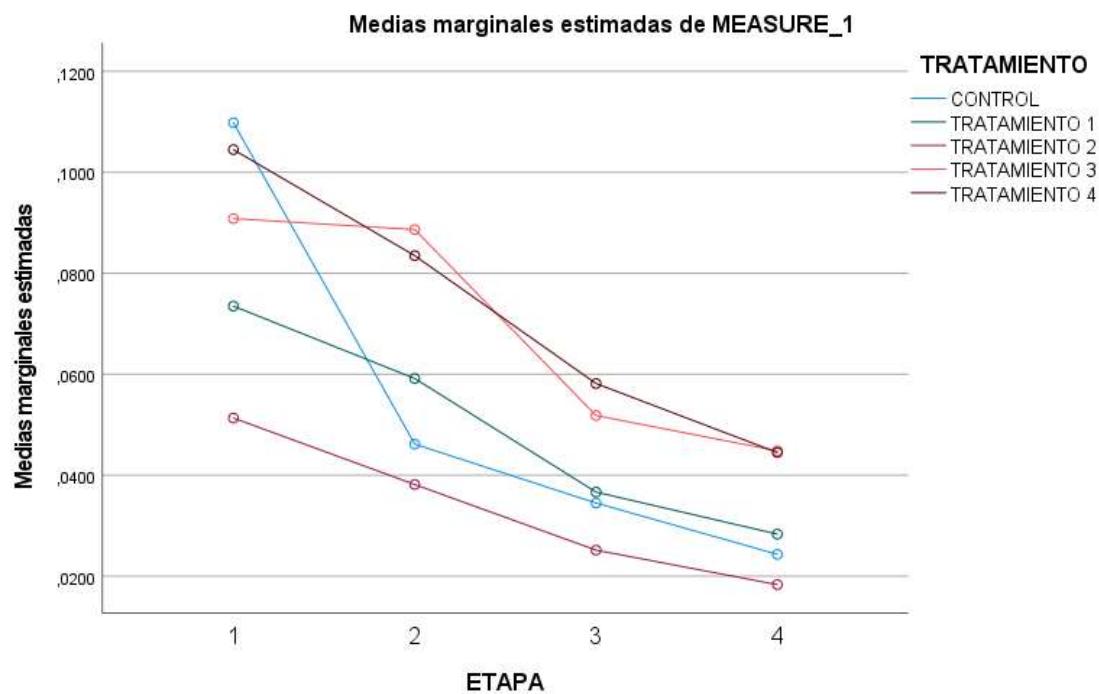
La Prueba de igualdad de Levene muestra que el supuesto de homogeneidad de varianzas se cumple perfectamente para todas las etapas. Todos los valores de significancia están muy por encima del nivel de significancia >0.05

- Etapa 1: $p=0.138 >0.05$ (media)/ $p= 0.495>0.05$ (mediana)
- Etapa 2: $p=0.06>0.05$ (media)/ $p=0.654>0.05$ (mediana)
- Etapa 3: $p=0.148>0.05$ (media) / $p=0.953>0.05$ (mediana)
- Etapa 4: $p= 0.126>0.05$ (media) / $p= 0.937>0.05$ (mediana)

Esto valida completamente el uso del ANOVA para esta variable. La Etapa 2 está más cerca del límite en la prueba basada en la media ($p= 0.06$), pero las versiones robustas basadas en la mediana no detectan ningún problema.

Figura 1

Medidas marginales estimadas para la variable de rendimiento evaluado en 4 etapas de producción.



El gráfico de medias marginales estimadas muestra la evolución del rendimiento de cinco tratamientos a lo largo de cuatro etapas consecutivas de cosecha.

En la primera etapa, el Control y el Tratamiento 4 presentan los valores más elevados, seguidos del Tratamiento 3. El Tratamiento 1 exhibe un valor intermedio mientras que el Tratamiento 2 registra el rendimiento inicial más bajo. A medida que avanzan las etapas, todos los tratamientos muestran una tendencia descendente, evidenciando un agotamiento progresivo de la capacidad productiva del sustrato. Sin embargo, la tasa de declive varía considerablemente entre tratamientos.

El Tratamiento 3 exhibe el descenso más gradual y sostenido, manteniendo valores de 0.900 en la etapa 2, 0.590 en la etapa 3, y finalizando en 0.450 unidades en la etapa 4. Está pendiente moderada indica una mayor estabilidad y durabilidad del sustrato.

El Tratamiento 4, aunque inicia con el segundo valor más alto, experimenta una caída más pronunciada en las primeras dos etapas, descendiendo a 0.850 en la etapa 2 y 0.590 en la etapa 3. El Control y tratamiento 1 muestran una degradación acelerada y constante, que a lo largo de las etapas terminan con el mismo nivel de rendimiento.

Finalmente, el Tratamiento 2 presenta el peor desempeño general, iniciando con el valor más bajo (0,520) y descendiendo consistentemente hasta alcanzar el rendimiento final más bajo de todos los tratamientos evaluados, con aproximadamente 0,190 unidades en la cuarta etapa.

Anexo E Prueba univariada para la variable eficiencia biológica.

La prueba univariada (Normalidad Shapiro-Wilk) para el efecto del TRATAMIENTO muestra un valor F de 4.309 con una significancia de 0.028. Esto confirma que existe un efecto estadísticamente significativo del tratamiento sobre la eficiencia biológica. El resultado de **eta parcial** al cuadrado es 0.633 lo cual indica que el 63% de la variabilidad entre sujetos en la eficiencia biológica promedio se atribuye al tratamiento.

Se puede observar que estos valores son exactamente idénticos a los que obtuvimos para rendimiento. Ya que la eficiencia biológica y rendimiento están matemáticamente relacionados, difiriendo solo en el factor de multiplicación y potencialmente en si se usa peso seco versus húmedo del sustrato. Lo importante es que la significancia estadística se mantiene. La cantidad de bagazo de caña es directamente proporcional a la eficiencia del hongo con su capacidad de transformar el sustrato en biomasa fúngica.

Anexo F. Prueba multivariante para la eficiencia biológica

Se utilizo el estadístico de Lambda de Wilks el cual dejo como resultado un valor F de 20.12 con una significancia de $p=0.00<0.001$

Eta parcial al cuadrado de 0.883 es aceptable. Esto significa que el 88% de la variabilidad en eficiencia biológica puede explicarse por el efecto temporal de las etapas de cosecha. Reflejando el hecho fundamental de que los hongos extraen progresivamente menos biomasa del sustrato a medida que se agotan los nutrientes disponibles. Es decir, gracias al paso del tiempo los nutrientes del sustrato disminuyen dando lugar a sustratos agotados y como resultado una eficiencia biológica en descenso al paso del tiempo o cosechas.

La convergencia perfecta de las cuatro pruebas multivariantes es un indicador muy fuerte de la validez de este efecto. Cuando todas las pruebas multivariantes llegan a la misma conclusión, podemos tener la certeza en que el efecto es notable, en este caso podemos decir que las etapas de cosecha afectan directamente a la eficiencia biológica.

Anexo G. Análisis detallado de los patrones por tratamiento y etapa.

En la tabla 28 denominada **TRATAMIENTO vs ETAPA** nos proporciona las medias estimadas para cada combinación específica.

Tabla 28

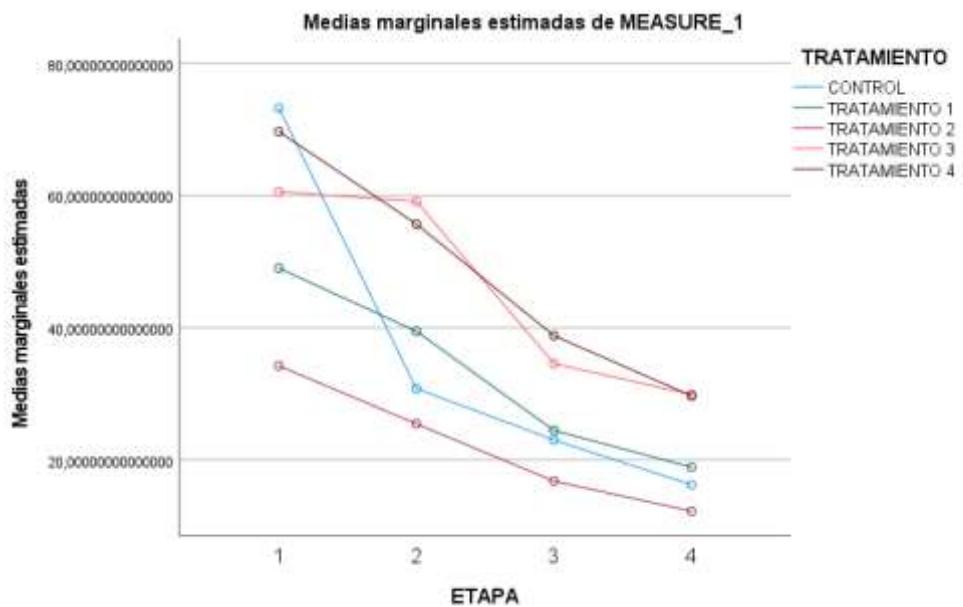
Tratamiento vs etapa de la variable eficiencia biológica.

TRATAMIENTO vs ETAPA			
TRATAMIENTO	ETAPA	Media	Desv. Error
CONTROL	1	73,222	9,807
	2	30,778	7,120
	3	23,000	4,432
	4	16,222	2,128
TRATAMIENTO 1	1	49,000	9,807
	2	39,444	7,120
	3	24,444	4,432
	4	18,889	2,128
TRATAMIENTO 2	1	34,222	9,807
	2	25,444	7,120
	3	16,778	4,432
	4	12,222	2,128
TRATAMIENTO 3	1	60,556	9,807
	2	59,111	7,120
	3	34,556	4,432
	4	29,889	2,128
TRATAMIENTO 4	1	69,667	9,807
	2	55,667	7,120
	3	38,778	4,432
	4	29,667	2,128

En el tratamiento CONTROL se revela una caída dramática del 58% entre la primera y segunda cosecha. El sustrato control proporciona una primera cosecha muy productiva, pero luego la eficiencia se desploma. Para la cuarta cosecha, la eficiencia es apenas el 22% del valor inicial. Este patrón de "subida y caída" se debe a que el sustrato proporciona nutrientes fácilmente disponibles pero que al pasar del tiempo o cosecha estos componentes se agotan fácilmente.

El nivel de eficiencia en la primera etapa del tratamiento 1 es más baja que el tratamiento control 49% vs 63% respectivamente, lo cual demuestra que en esta formulación (67% de aserrín y 25% de bagazo de caña) no optimiza el nivel nutricional. Sin embargo, se observa el decrecimiento de T1 es mucho más gradual. Entre la primera y segunda cosecha solo pierde el 20% de eficiencia, comparado con el 58% del control. Este tratamiento mantiene mejor su productividad a través del tiempo, aunque nunca alcanza los picos altos del control.

Medidas marginales estimadas para la variable eficiencia biológica en 4 etapas de producción.



El gráfico de medias marginales representa la evolución de la eficiencia biológica en cada tratamiento a lo largo de las cuatro etapas de producción (cosechas). Los resultados revelan patrones diferenciados de comportamiento productivo.

Anexo H. Fases de producción del sustrato (evidencias)

Caracterización de materia prima



Análisis de carbono



Formulación de sustrato



Esterilización de sustrato



Inoculación del sustrato



Colonización del micelio tratamiento 3



Colonización todos los tratamientos



Aparición de primordios



Primera cosecha



Segunda cosecha



Tercera cosecha



Cuarta cosecha



Peso de hongos cosechados

