

**Evaluación del crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* bajo diversas
concentraciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del
Cauca**

Victoria Eugenia Hernández Mosquera

Asesor:

PhD. Sandra Patricia Montenegro Gómez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuniarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Agronomía

2023

Dedicatoria

En primer lugar, darle gracias a Dios por la oportunidad que me ha dado de poder estar aquí de brindarme sabiduría y las fuerzas para seguir adelante en mis estudios.

Quiero dedicarles este trabajo a mis padres, mi esposo y a mi hija personas que han sido súper importantes en cada etapa de mi vida.

Agradecimientos

Agradecer a mis padres y mi esposo que siempre me han dado su apoyo incondicional para poder cumplir con todos mis objetivos personales y académicos. Ellos me han motivado a seguir adelante cumplir con mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

Le agradezco profundamente a mi tutora Sandra Montenegro por su dedicación paciencia y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y sus consejos.

Por último, agradecer a la universidad que me ha exigido y me ha dado la oportunidad de aprender y de poder obtener mi ansiado título. Agradezco a cada directivo `por dedicación y gestión para que las personas que quieran seguir sus estudios lo puedan hacer y puedan aprender más.

Resumen

Las vinazas son subproductos generados de la industria de alcoholes y licores. En Colombia, en el Valle del Cauca, los ingenios azucareros, generan alto volumen de producción de vinazas representa amenaza para el equilibrio ambiental por su gran carga contaminante, ya que este residuo presenta elevado índice de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Hongos como *Pleurotus ostreatus*, tienen capacidad para degradar residuos de vinaza, por lo tanto, el presente proyecto evaluó el crecimiento del hongo, bajo diversas concentraciones. El objetivo del presente trabajo fue Evaluar el crecimiento de hongos *P. ostreatus* bajo efecto de diversas concentraciones vinaza generada en la producción caña de azúcar del Valle del Cauca-Colombia.

El estudio se realizó en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca, la experimentación se desarrolló bajo condiciones ambientales controladas. Se establecieron tres tratamientos y un testigo (T1- vinaza 10%, T2- vinaza 36%, T3. vinaza 55%), 3 repeticiones correspondiente a 12 unidades experimentales. Los resultados indican que los residuos vegetales empleados como fuente de sustrato en el presente estudio, podrían considerarse por sí solos con potencial para el desarrollo de *P. ostreatus* y por su parte la vinaza diluida al 10%, genera expectativas sobre el rendimiento de *P. ostreatus* y su potencial para la degradación de este residuo. La eficiencia biológica de *P. ostreatus*, sugiere que la utilización de vinaza en concentraciones diluidas favorece el desarrollo del hongo y también se evidencia su vulnerabilidad en altas concentraciones de este residuo, sugiriendo una posible toxicidad a medida que se incrementa la concentración de vinaza.

Palabras clave: Contaminación, biotransformación, residuos agroindustriales, sustentabilidad.

Abstract

Stillage are by-products generated from the alcohol and liquor industry. In Colombia, in Valle del Cauca, sugar mills generate a high volume of stillage production, representing a threat to the environmental balance due to its large polluting load, since this residue has a high BOD index (Biochemical Oxygen Demand). Fungi such as *Pleurotus ostreatus*, have the capacity to degrade stillage residues, therefore, the present project evaluated the growth of the fungus, under various concentrations. The objective of this work was to evaluate the growth of *P. ostreatus* fungi under the effect of various vinasse concentrations generated in the sugarcane production of Valle del Cauca-Colombia.

The study was carried out in the municipality of Candelaria, Valle del Cauca, the experimentation was carried out under controlled environmental conditions. Three treatments and a control were established (T1- vinasse 10%, T2- vinasse 36%, T3. vinasse 55%), 3 repetitions corresponding to 12 experimental units. The results indicate that the plant residues used as a source of substrate in the present study could be considered by themselves with potential for the development of *P. ostreatus* and, on the other hand, the vinasse diluted to 10% generates expectations about the yield of *P. ostreatus* and its potential for the degradation of this residue. The biological efficiency of *P. ostreatus* suggests that the use of vinasse in diluted concentrations favors the development of the fungus and its vulnerability is also evidenced in high concentrations of this residue, suggesting a possible toxicity as the vinasse concentration increases.

Keywords: Pollution, biotransformation, agro industrial residues, sustainability.

Tabla de contenido

Introducción	10
Justificación.....	12
Objetivos.....	13
Marco conceptual y teórico.....	14
Metodología	23
Resultados y discusión.....	28
Conclusiones	36
Referencias bibliograficas	37
Apéndices.....	50

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Parametros de operación de hongos Pleurotus ostreatus. Adaptado de Pineda et al (2014)</i>	22
Tabla 2 <i>Analisis fisicoquimico de vinaza. Fuente: Laboratorio campolad. Colombia</i>	24
Tabla 3 <i>Multiplicacion, produccion y rendimiento del hongo Pleurotus</i>	25
Tabla 4 <i>Peso fresco de hongo Pleurotus ostreatus en residuos vegetales mezclados con vinaza</i>	28

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Clasificación taxonomica del genero Pleurotus</i>	17
Figura 2 <i>Descripción general de la producción del hongo Pleurotus</i>	19
Figura 3 <i>Eficiencia biológica del hongo Pleurotus ostreatus bajo la influencia de dos concentraciones de vinaza</i>	30
Figura 4 <i>Rendimiento de Pleurotus ostreatus en dos tratamientos con vinaza</i>	34

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Porcentaje Eficiencia biológica</i>	50
Apéndice B <i>Porcentaje Rendimiento</i>	52

Introducción

Las vinazas son subproductos generados de la industria de alcoholes y licores de acuerdo a lo relacionado en NTC 1929-2001 (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2012) y se obtienen tras separar el alcohol del jugo fermentado, se caracterizan por su alto contenido de sólidos ($100-150 \text{ gL}^{-1}$), valores elevados de Demanda Bioquímica de Oxígeno ($\text{DBO}_5=40-100 \text{ gL}^{-1}$), Demanda Química de Oxígeno ($\text{DQO}=10-200 \text{ gL}^{-1}$), bajo pH (3-5) y coloración intensa (Retes-Pruneda *et al.*, 2014; Arimi *et al.*, 2015; Tapie *et al.*, 2016), estos subproductos de vinaza pueden originarse de caña de azúcar, remolacha, agave, maíz o cebada y son altamente contaminantes tanto en suelos como en cuerpos acuíferos por la carga orgánica que posee y por los altos volúmenes generados a diario que no logran procesos de adecuada disposición final.

Algunos de los componentes de las vinazas son usados como fuente nutricional para diversos organismos, entre ellos los hongos *P. ostreatus* por su demostrada capacidad de degradación de este residuo (Rodríguez *et al.*, 2006; Hibbett *et al.*, 2014; Canacuan, 2016, Aguiar *et al.*, 2022). En Colombia el poco aprovechamiento de residuos agroindustriales (González *et al.*, 2017) genera impacto socio-ambiental y poco se conoce sobre el potencial del hongo *P. ostreatus* y otros hongos del género *Pleurotus* como degradadores de residuos contaminantes, tornándose en una oportunidad para el desarrollo y fortalecimiento de investigaciones sobre descontaminación de vinazas, por medio de su biotransformación. El presente trabajo surgió con el objetivo de evaluar el crecimiento de hongos *P. ostreatus* bajo efecto de diversas concentraciones vinaza generada en la producción de caña de azúcar.

Se evaluó el crecimiento de *P. ostreatus* sobre tres tratamientos y un testigo (T1- vinaza 10%, T2- vinaza 36%, T3. vinaza 55%). Los resultados evidenciaron la vulnerabilidad del hongo

para desarrollarse bajo el efecto de vinaza al 55%, concentración en la cual no hubo crecimiento, sugiriendo una posible toxicidad cuando se incrementa la concentración de este residuo agroindustrial.

Justificación

Pleurotus ostreatus (*P. ostreatus*) hace parte del grupo de hongos empleados ampliamente en la degradación de compuestos recalcitrantes y xenobióticos por su producción de enzimas asociadas primordialmente con la mineralización de la lignina por rutas inespecíficas. A dichas enzimas se les atribuye la capacidad de oxidar tanto los anillos aromáticos como algunos de los sustituyentes presentes en las unidades de este polímero, este proceso se asocia con la degradación de contaminantes orgánicos, tales como los colorantes, plaguicidas e hidrocarburos poliaromáticos que presentan una similitud estructural con las unidades de fenilpropano de la lignina (Gouma et al.,2014).

Las vinazas son subproductos generados de la industria de alcoholes y licores y se obtienen tras separar el alcohol del jugo fermentado, poseen una carga orgánica con altos volúmenes que se generan diariamente en el Valle del Cauca y no se obtiene un adecuado proceso con este líquido.

Por lo tanto, el poco aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia como lo es la vinaza y el potencial del hongo *P. ostreatus* y otros hongos del género *Pleurotus* degradadores de residuos contaminantes, generan expectativa sobre el potencial de biorremediación de las vinazas intermediadas por *Pleurotus* y a adicional a ello se suma el potencial nutricional que podría representar del hongo desarrollado en concentraciones de vinaza que no representen algún tipo de toxicidad para consumo.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el crecimiento de hongos *Pleurotus ostreatus* bajo efecto de diversas concentraciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca

Objetivos Específicos.

Estimar la fructificación de *P. ostreatus*, bajo el efecto de diferentes dosificaciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

Determinar la eficiencia biológica del hongo *P. ostreatus*, bajo el efecto de diferentes dosificaciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

Proponer acciones de mejora para el cultivo de *P. ostreatus* bajo el efecto de diferentes dosificaciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

Marco Conceptual y Teórico

Generalidades de las vinazas

De acuerdo con la concentración de sólidos totales la vinaza se clasifica en: diluida: 8 a 10%, semiconcentrada: 20 a 30%, concentrada: 55 a 60%, Sólida: 99 a 99.9 %. Las vinazas producidas en las destilerías del Valle del Cauca tienen contenidos de sólidos totales de 10 y 55 % y en ambas sobresalen materia orgánica, potasio, sulfatos y óxidos de calcio y de magnesio (Quintero 2004). Diversas estrategias sostenibles son necesarias para contribuir con la mitigación del impacto ambiental de la vinaza, entre las cuales *P. ostreatus* configura una alternativa viable, ya que este hongo es de fácil crecimiento en condiciones técnicamente apropiadas.

Tratamientos fisicoquímicos y biológicos para la biotransformación de vinazas

La transformación de la vinaza tiene como finalidad obtener un producto que no contamine el medio ambiente y puede realizarse a través de métodos físicos, químicos o biológicos (Ahmed, 2016). Las tecnologías físico-químicas más empleadas incluyen procesos de adsorción, coagulación/floculación, procesos de oxidación avanzada (cloración, ozonización, reacciones de Fenton, de Fenton mediada, oxidación fotolítica, tecnología de membranas y electrocoagulación (Wagh & Nemade, 2015), sin embargo, estos procesos son costosos y poco adecuados para líquidos residuales. Los métodos biológicos basados en microorganismos han sido reconocidos por su alta eficacia, la biorremediación es un proceso de transformación que se consolida como una tecnología no contaminante del medio ambiente, económicamente rentable y socialmente aceptado (McMullan *et al.*, 2001; Kulshreshtha, 2012; Ahmed, 2016, Montenegro *et al.*, 2021; Rulli, Del Gobbo & Colin, 2023). Estos procesos biológicos pueden ser realizados en condiciones aerobias y anaerobias, por bacterias, cianobacterias, algas, microalgas, levaduras y hongos filamentosos, en este último grupo se encuentran los hongos de la pudrición blanca, los

cuales por su extraordinaria capacidad para sintetizar y secretar enzimas ligninolíticas inespecíficas son muy apropiados en el tratamiento de efluentes y residuos con elevado contenido de color y compuestos fenólicos y algunos grupos con capacidad para de decoloración superior al 90% (Strong & Burgess, 2008). Entre los hongos estudiados con alta capacidad de decoloración de vinazas de destilería de alcohol, se encuentra *P. ostreatus*. Rodríguez *et al.*, (2006), en una dilución 1:2 logró alcanzar degradación de 50% de vinaza con la cepa 3022 de *P. ostreatus*. Canacuan & Guerrero (2016) en un reactor de lecho empacado, observaron que el hongo *P. ostreatus*, sobre sustrato lignocelulítico de trigo y tamo de arroz, fue capaz de remover los compuestos responsables de la coloración en una vinaza de caña de azúcar hasta en un 84% después de 36 días de tratamiento a temperatura ambiente (25 °C). Adicionalmente, removió el Carbono Orgánico Total (COT), Demanda química y biológica de oxígeno (DQO y DBO₅) en un 45%, 87% y 92% respectivamente, sin embargo, los autores destacan la publicación de Ferreira *et al.* (2011), donde se presenta mayor eficiencia de *P. sajor-caju* con un promedio de decoloración alrededor del 99%, resultados similares reportaron Ahmed; (2016) y Sánchez. (2015) en producción de hongos comestibles del género *Pleurotus* a partir de los residuos vegetales provenientes de la plaza de mercado del municipio de Quibdó (Colombia).

Generalidades del género *Pleurotus*

El género *Pleurotus* representa el 14% del total de hongos comestibles producidos en el mundo, gracias al contenido nutricional que presenta que es casi el doble comparado con frutas y vegetales.

La proteína constituye el 30% del peso seco de *Pleurotus* (Chang 1999; Croan 2004; Salgado *et al.*, 2005). En su calidad nutricional es importante destacar que el 80% de la proteína es digerible y presentan una alta eficiencia de conversión a proteína por unidad de área cultivada

y por unidad de tiempo en diferentes pisos térmicos, muy superior a las fuentes de proteína animal, son una fuente excelente de fibra dietaría y de vitaminas B₁, B₂, B₅, B₆, B₇, B₉, B₁₂, C, D; también aporta los minerales fósforo, hierro, calcio y potasio) (Salgado *et al.*, 2005; Bayona, 2012; La Guardia *et al.*, 2005). *Pleurotus* de la especie *ostreatus*, son hongos de distribución mundial y los más estudiados por su calidad nutricional, facilidad de cultivo y potencial económico (Research & Markets, 2021).

La parte comestible de *Pleurotus* es su sombrero (figura 1), la parte inferior del sombrero posee unas laminillas blanquecinas, productoras de esporas destinadas a la reproducción de la especie (Rusalén, 2009). El micelio formado por un conjunto de filamentos llamados “hifas”, es la fase vegetativa de los hongos, suministra los alimentos necesarios para la formación y el desarrollo de los órganos de reproducción. Sus esporas son de color gris lila pálido y un cuerpo fructífero carnoso suave que varía de color de blanco a gris, marrón o incluso negruzco. Existe cierta variabilidad entre las especies debido a la amplia distribución y aislamiento reproductivo entre continentes (Woller, 2007); por lo tanto, para la identificación taxonómica (figura 1), se han utilizado técnicas bioquímicas y moleculares, así como pruebas de compatibilidad de apareamiento para aclarar las relaciones taxonómicas y filogenéticas entre las especies de *Pleurotus*, estas pruebas se han venido fortaleciendo ya que la identificación basada en características morfológicas de acuerdo a la forma, color, textura o tamaño de cuerpos fructíferos usadas en identificación de hongos superiores son criterios inconsistentes e inestables por estar fuertemente influenciados por el clima, condiciones ambientales y el sustrato de cultivo (Bao & Kitamoto, 2004).

Figura 1

Clasificación taxonómica del género Pleurotus

Dominio: *Eukarya*

Reino: *Hongos*

Filo: *Basidiomycota*

Clase: *Himenomycetes*

Orden: *Agaricales*

Familia: *Pleurotacea*

Género: *Pleurotus*

Especie: *Ostreatus, sajor-caju, pulmonarius, etc.*

Fuente. Autoría propia



Sustratos para crecimiento de *Pleurotus* y proceso general de multiplicación

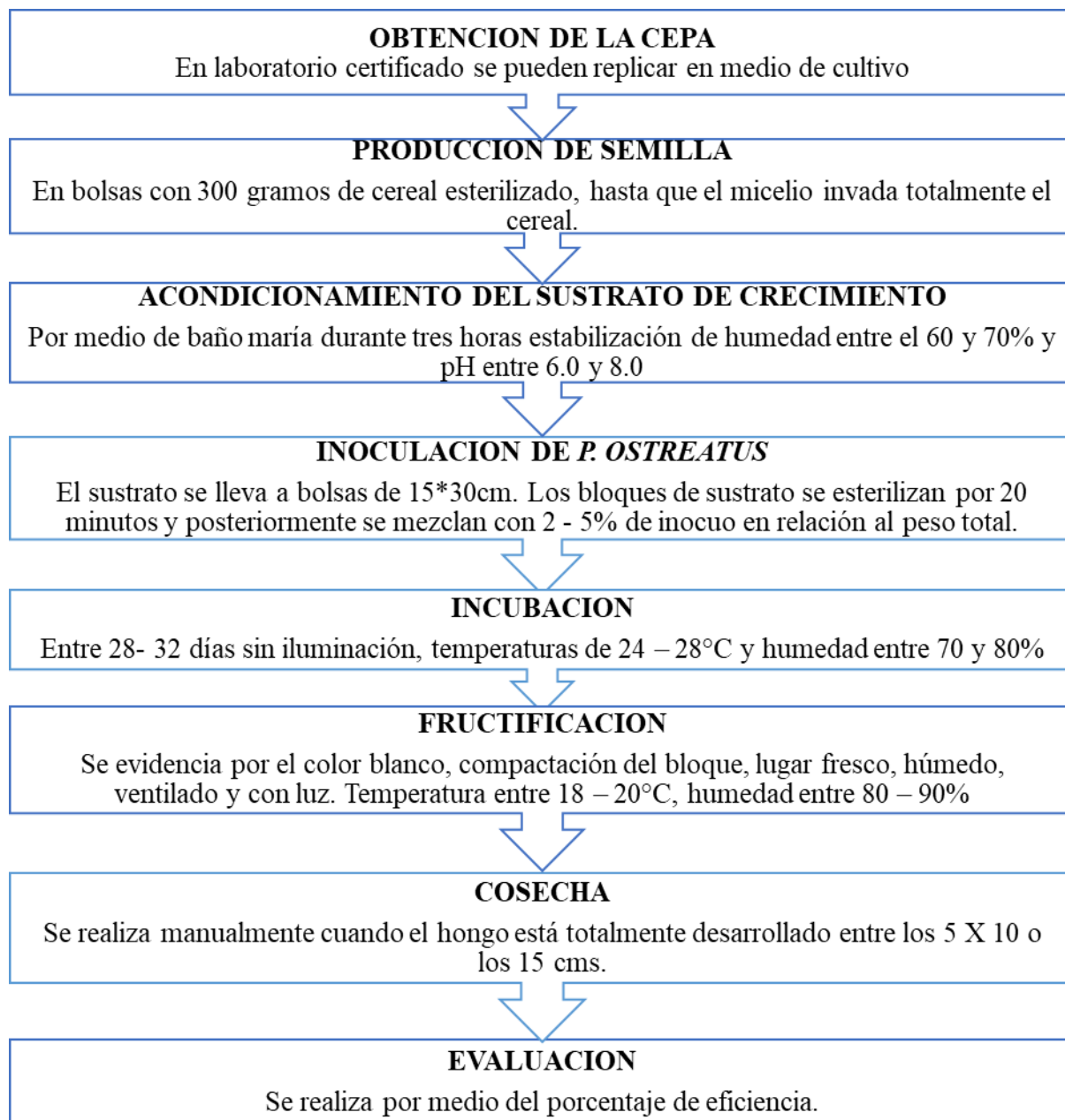
La biotransformación de los residuos agrícolas o agroindustriales mediante el cultivo de hongos es un método de tratamiento ecológico y de alta valorización debido al aprovechamiento alimenticio de los hongos y la reducción del impacto ambiental que estos residuos sólidos generan (Nieto *et al.*, 2019). *P. spp.*, es un tipo de hongo que crece sobre la mayoría de los materiales lignocelulósicos como la madera podrida, residuos de madera y la mayoría de los desechos agrícolas (Stamets, 1999; Straatsma *et al.*, 2000). Los hongos *P. spp.* se encuentran entre los descomponedores activos de madera y otros sustratos, gracias a la gran cantidad de

enzimas ligninolíticas inespecíficas que les permiten descomponer lignina, proteínas, carbohidratos, celulosa y materiales que contienen almidón (Straatsma *et al.*, 2000; Mehrdad *et al.*, 2010; Ahmed, De Figueroa & Pajot, 2020).

El género *Pleurotus* utiliza de manera selectiva la lignina y la celulosa para su crecimiento, crece fácilmente en diversos residuos de la agroindustria como aserrín, paja de arroz, residuos de banano, tallo y pulpa de café, bagazo de caña, entre otros (Jaramillo *et al.*, 2005). La degradación de los sustratos orgánicos se debe a la capacidad de los hongos para producir enzimas extracelulares como lignina peroxidasa, manganeso peroxidasa y lacasa. Las necesidades de nitrógeno pueden cubrirse por las proteínas y aminoácidos que resultan de la descomposición de cuerpos orgánicos, o simplemente con el agregado de úrea (Croan, 2004; Rusalén, 2009; Rodríguez; Hebert, 2023).

Figura 2

Descripción general de la producción del hongo Pleurotus.



Fuente: Autoría propia.

Por su extraordinaria capacidad para sintetizar y secretar enzimas ligninolíticas, los hongos del género *Pleurotus* son muy apropiados para el tratamiento de efluentes y residuos con elevado contenido de color y compuestos fenólicos; algunos grupos con capacidad decolorativa superior al 90% (Strong & Burgess, 2008), es el caso del estudio realizado por Canacuan & Guerrero, (2016), el cual verificó que *P. ostreatus* es capaz de actuar como degradante biológico de los compuestos responsables del color marrón de la vinaza, al igual que Rodríguez *et al.*, (2006), en una dilución 1:2 de vinaza, observaron un alcance de degradación del 50% con una cepa llamada 3022 de *P. ostreatus*.

Pleurotus puede degradar residuos agroindustriales que contienen compuestos fenólicos y las melanoidinas presentes en las vinazas de caña de azúcar, a través de enzimas lignocelulíticas (lacasa, peroxidasa y manganeso-peroxidasa), gracias a la similitud molecular entre las melanoidinas y la lignina (Canacuan & Guerrero, 2016). El sustrato utilizado para su cultivo no requiere esterilización, puede solamente ser pasteurizado. Estos hongos convierten un alto porcentaje del sustrato en cuerpos fructíferos, aumentando la rentabilidad. Exige pocos controles ambientales, y sus cuerpos fructíferos no suelen ser atacados por enfermedades y plagas, y se pueden cultivar de forma sencilla y económica. Todo esto hace que el cultivo de *Pleurotus* sea una excelente alternativa para la producción, en comparación con otros hongos (Sánchez, 2010; Villavicencio, 2023).

Muswati *et al.*, (2021) indican que el rendimiento y la productividad del hongo *Pleurotus* depende del sustrato de cultivo, afectando la duración en formación del micelio, formación de carpóforos, cantidad de cuerpos fructíferos, tiempo de cultivo, diámetro del primordio y la eficiencia biológica del hongo. Los resultados de esta investigación también indican que la mezcla de sustrato puede ayudar a aumentar el rendimiento de los hongos impactando en

características como la capacidad de retención de agua, aumento de la estructura del sustrato, porosidad para la circulación de agua e intercambio gaseoso, también en el sustrato es importante contar con una adecuada relación carbono nitrógeno (C/N), por lo tanto, el sustrato debe incluir dentro de la mezcla fuentes con alta relación C/N para fortalecer el crecimiento micelial y fuentes de baja relación C/N para fortalecer el desarrollo de cuerpos fructíferos.

Factores que afectan el crecimiento de *P. ostreatus*

De modo general existen unos parámetros de operación para el adecuado desarrollo de *P. ostreatus*, por ejemplo, las características físicas, químicas o biológicas de los sustratos, entre ellas el tamaño de partículas, pH, humedad, temperatura (Tabla 1).

Las enfermedades que se manifiestan en los fructificaciones de *Pleurotus* son causadas en gran medida por bacterias y virus. Las plagas las constituyen insectos que atacan a los cultivos tanto en incubación como en el área de producción, atraídos principalmente por el olor del sustrato (Martínez, 2020).

Es importante considerar la contaminación que puede aparecer por lo general en la fase de incubación y esto es debido principalmente a la mala pasteurización del sustrato, al mal manejo de este o a la falta de higiene en el momento de la siembra, estas alteraciones pueden ocasionar descensos en el rendimiento o bien deprecia la calidad comercial del producto.

Tabla 1

Parámetros de operación del hongo P. ostreatus. Adaptado de Pineda et al, (2014).

Especie	Partícula (mm)	pH	Humedad del sustrato (%)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Referencias
<i>P. ostreatus</i>	20, (14,1-14,6)	5,5	70; (70-80); (60-70)	25; (20-28); (18-25); 34); 30, (25, 30)	70, 80, 90, 100	Granizo, (2022). Graciano <i>et al</i> , (2009); Han J-H <i>et al.</i> , (2009); Membrillo <i>et al.</i> , (2011); Kibar & Medellín (2008); Leiva, (2023) Pineda <i>et al.</i> , (2014); Nasreen et al., (2008); Omarini <i>et al.</i> , (2011); Pastorini, Bernardi, Soares (2009); Shrivastava (2011), Toledo (2008); Varnero (2010);); Vázquez (2022)

Nota. Esta tabla muestra los parámetros de la operación del hongo Pleurotus ostreatus. *Fuente.* Autoría propia.

Metodología

Localidad

El presente estudio se desarrolló en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca con temperatura promedio 24°C, la cual generalmente varía de 19 °C a 30 °C y humedad relativa entre 69 y 78%, el experimento se desarrolló bajo condiciones ambientales controladas.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar, con una estructura factorial 4x3, mezclas de hongos y residuo, tres tratamientos, un testigo (T1-T3 y 1 Testigo), 3 repeticiones correspondiente a 12 unidades experimentales de hongos *P. ostreatus*. Los tratamientos estuvieron conformados por material base para el crecimiento de hongos, correspondiente al sustrato lignocelulósicos de bagazo de caña de azúcar que por su alta relación C/N, influye en el fortalecimiento micelial de los hongos y residuos de vainas de frijol con baja relación C/N para favorecer el desarrollo de cuerpos fructíferos. Las unidades experimentales fueron bolsas plásticas transparentes de 1 kg de 15x30 cm con vinaza analizada en el laboratorio campolab-Colombia, cuya composición se presenta en la Tabla 2 y fue diluida a tres concentraciones (Diluida-10%, semiconcentrada-36%, concentrada-55%). El crecimiento de los hongos se desarrolló en 25 días bajo condiciones estrictas de humedad, temperatura y luminosidad.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: **T1**= Sustrato con *P. ostreatus*: residuo de alta relación C/N + residuo de baja relación C/N + vinaza 10%, **T2**= Sustrato con *P. ostreatus*: residuo de alta relación C/N + residuo de baja relación C/N + vinaza 36%, **T3**= Sustrato con *P. ostreatus*: residuo de alta relación C/N + residuo de baja relación C/N + vinaza 55%, Testigo = Sustrato con *P. ostreatus*: residuo de alta relación C/N + residuo de baja relación C/N + agua.

Tabla 2

Análisis fisicoquímico de vinaza. Fuente: Laboratorio campolab. Colombia.

Elemento	Expresión	Unidades	Resultados	Método
NITRÓGENO ORGÁNICO	N-Org	g/l	0,53	Volumetría KJELDHAL (Método Interno)
FÓSFORO TOTAL	P ₂ O ₅	g/l	N.D.	Colorimetría NTC 234 (Método Interno)
POTASIO TOTAL	K ₂ O	g/l	1,27	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)
CALCIO TOTAL	CaO	g/l	0,23	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)
MAGNESIO TOTAL	MgO	g/l	0,47	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)
AZUFRE TOTAL	S	g/l	0,93	Turbidimetría (Método Interno)
HIERRO TOTAL	Fe	g/l	N.D.	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)
MANGANESO TOTAL	Mn	g/l	N.D.	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)
COBRE TOTAL	Cu	g/l	N.D.	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)
ZINC TOTAL	Zn	g/l	N.D.	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)
BORO TOTAL	B	g/l	N.D.	Colorimetría NTC 1860 (Método Interno)
SODIO TOTAL	Na	g/l	0,66	Espectrofotometría de Absorción Atómica (Método Interno)

CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE TOTAL	C.O.O.T.	g/l	8,71	Espectrofotometría Uv-Vis COLOR (WALKLEY-BLACK)
SÓLIDOS INSOLUBLES	--	g/L	N.D.	Gravimetría (Método Interno)
pH (Sln al 10% - 25°C)	pH	N.A.	6,33	Potenciometría (Método Interno)
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (Sln 1/100)	C.E.	dS/m	0,11	Potenciometría (Método Interno)
DENSIDAD (25°C)	ρ	g/c.c.	0,98	Gravimetría (Método Interno)

Nota. Descripción obtenidos de los análisis fisicoquímicos de la vinaza. *Fuente.* Laboratorio Campolab. Colombia.

Etapas de multiplicación de *P. ostreatus*

En la Tabla 3, se describen las etapas de multiplicación de los hongos evaluados en el presente estudio, desde la obtención de las cepas hasta la cosecha. Este proceso se desarrolló de forma artesanal y bajo condiciones de asepsia para evitar al máximo cualquier tipo de contaminación.

Tabla 3

Multiplicación, producción y rendimiento del hongo Pleurotus

Etapas	Proceso de desarrollo
1. Obtención de <i>Pleurotus</i>	Se utilizó semilla comercial de <i>P. ostreatus</i>
2. Producción de semilla	Se realizó en bolsas de polipropileno con 300 gramos de arroz previamente esterilizado y se inoculó en cámara de flujo laminar. El hongo se dejó hasta que el micelio invadió totalmente los granos de arroz.
3. Pasteurización del sustrato	La pasteurización del sustrato se realizó artesanalmente en costales de polipropileno. Para este proceso se utilizaron dos canecas de metal galvanizado esterilizadas y se mantuvieron al calor en baño maría durante tres horas a temperatura de ebullición. El sustrato se sumergió en agua y/o vinaza (según el tratamiento) con ajuste de pH entre 6.5 y 8.0 Después se dejó escurrir. Se midió la humedad en el sustrato.
4. Inoculación de <i>Pleurotus</i>	El sustrato se llevó a un mesón desinfectado con hipoclorito y alcohol hasta que alcanzara la temperatura ambiente, luego se introdujo en bolsas de 15x30 centímetros. Los bloques del sustrato se esterilizaron por 30 minutos, posteriormente se mezclaron manualmente con el inoculo (2-5% del total del peso escurrido del sustrato). Al final

	el sustrato quedó prensado en las unidades experimentales (bolsas transparentes). Se garantizó la esterilización del sustrato, ya que se debe mantener húmedo y libre de cualquier agente competitivo con el hongo. Las condiciones ambientales fueron las siguientes: temperatura de 24-28°C, humedad 70-80% y cero iluminaciones.
5. Incubación	Se necesitó un cuarto de 27 m ² forrado con plástico negro para mantener el ambiente adecuado y una estantería para colgar las bolsas transparentes. El cuarto fue desinfectado con hipoclorito y alcohol, se dejaron los hongos 32 días. De allí se llevó a la zona de fructificación.
6. Fructificación	Después de la colonización del sustrato evidenciado por cambio de color a blanco y compactación del bloque. Las condiciones en este proceso fueron en un lugar fresco, húmedo, ventilado y con luz. Temperatura entre 18-24°C, humedad 80-90%.
7. Cosecha	La cosecha se realizó manualmente cuando el hongo estuvo totalmente desarrollado teniendo de 5 x 10 0 15 cm.

NOTA. Descripción sobre el proceso de desarrollo en cada etapa del hongo *Pleurotus ostreatus*. *Fuente.*

Autoría propia.

Variables Evaluadas

Objetivo específico 1

Estimar la fructificación de *P. ostreatus*, bajo el efecto de diferentes dosificaciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

La Cosecha y pesaje de los carpóforos se determinó siguiendo la metodología de López *et al.* (2008), en el cual la recolección se hace de forma manual cortando con una cuchilla estéril. El peso de los carpóforos se determinó inmediatamente después de su corte. Para evaluar el crecimiento y la producción de *P. ostreatus* bajo diversas concentraciones de vinaza, se estimó el diámetro de los carpóforos (centímetros) y cantidad total de hongos (número de carpóforos cosechados por sustrato), peso fresco total (peso fresco cuerpos fructíferos en gramos).

Objetivo específico 2

Determinar la eficiencia biológica del hongo *P. ostreatus*, bajo el efecto de diferentes dosificaciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

porcentaje de eficiencia biológica: Para conocer el potencial de producción de las cepas estudiadas, se determinó expresando en porcentaje la relación entre el peso fresco de los

hongos producidos y el peso del sustrato seco [EB (%) = (peso de hongos frescos/ peso del sustrato seco)*100%] (Vega & Franco, 2013), adicionalmente se evaluó la producción de *P. ostreatus* determinando el peso de carpóforos, % eficiencia biológica y % rendimiento y multiplicado por 100 (Sánchez *et al.*, 2005; Ariza, 2023).

Objetivo específico 3

Proponer acciones de mejora para el cultivo de *P. ostreatus* bajo el efecto de diferentes dosificaciones de vinaza generada en la producción de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

Actividad: A partir de los resultados obtenidos se dejan algunas propuestas de prospección para el cultivo de *P. ostreatus*

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza ANOVA con nivel de significancia del 5%; a los resultados que presentaron diferencias significativas se les aplicó el método de comparación de Tukey y test de Kruskal-Wallis.

Resultados y Discusión

En la tabla 4, se relaciona el peso obtenido en los hongos *P. ostreatus*, donde se observa que en la concentración de vinaza del 55% no hubo crecimiento, indicando que probablemente, este nivel de concentración puede causar toxicidad en el desarrollo fúngico. Adicionalmente, es importante destacar que las condiciones ambientales como las altas temperaturas en la época de la siembra pudieron influir en el desarrollo y productividad de las cepas, similar a lo reportado por Salmones *ostreatus.*, (2020), en hongos *Pleurotus* de la especie *pulmonarius*, quienes tuvieron dificultades con el desarrollo de las cepas durante los meses calurosos.

Tabla 4

Peso fresco de hongos Pleurotus ostreatus en residuos vegetales mezclados con vinaza

Concentración de vinaza	Peso fresco gramos
0 (testigo con agua)	36
10%	10
36%	22
55%	0

Nota. Obtención del peso del hongo *Pleurotus ostreatus* mezclado en vinaza. *Fuente.* Autoría propia.

Por otra parte, es posible que durante el experimento se hayan presentado situaciones de contaminación, esto último es importante tenerlo muy presente en los procesos de esterilización tanto de sustratos como del material utilizado (Infante, *et al.*,2016). Otro aspecto que tendría que estudiarse con mayor profundidad corresponde a la mezcla de sustratos vegetales.

Eficiencia Biológica

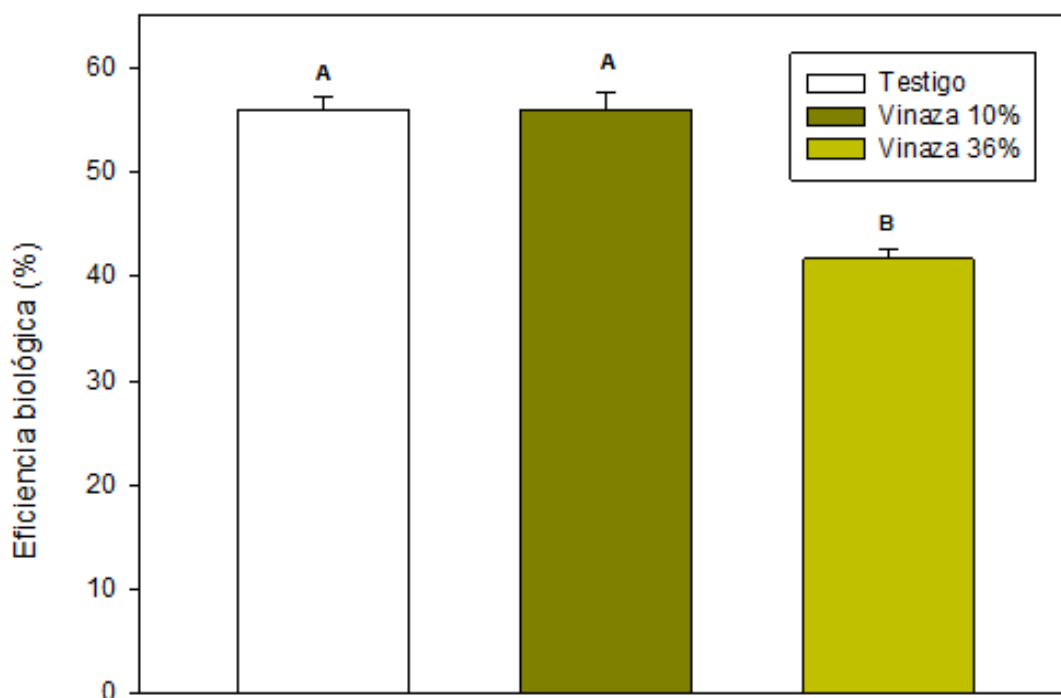
La eficiencia Biológica, representada en la Figura 3, indica que existieron diferencias significativas entre la concentración de vinaza al 10% en comparación a la vinaza al 36% y el testigo, esto refleja la importancia que representa las proporciones del sustrato para el desarrollo

de los hongos. La prueba de Tukey mostró que la eficiencia biológica fue mayor (56%) en la concentración de vinaza al 10%, la cual fue similar al testigo (56%), es decir que el incremento de vinaza tiene un efecto negativo en la eficiencia biológica del hongo, la cual fue menor (42%) en el tratamiento con vinaza al 36% e inexistente en la concentración de vinaza al 55%.

Una situación similar a los resultados del presente estudio donde se evaluó la eficiencia de *P. ostreatus* frente a la producción de gas ruminal bajo el efecto de vinaza en la producción de este gas, fue reportado por Canacun & Guerrero, (2016), quienes encontraron que con una mezcla de residuos vegetales y vinaza al 9% se logró mayor producción de gas (48,4 ml), mientras que la menor producción de gas (17,1 ml) se presentó al nivel del 12% de vinaza; es decir a medida que se adicionaba vinaza de manera creciente, la producción de gas disminuía, por consiguiente, en ambos estudios se evidencia que la funcionalidad de *P. ostreatus*, se favorece con bajas concentraciones de vinaza, en concordancia con Pérez, *et al.*, (2006); Fitzgibbon *et al.*, (1995); ICIDCA. (1986); Zelaya (2022), estos resultados pueden atribuirse al incremento en la vinaza de compuestos recalcitrantes e inhibidores que pueden estar interfiriendo en el crecimiento del micelio. Entre ellos derivados premelanoidinos de intensa coloración y fenoles como el ácido gálico y el vanilínico, los cuales están presentes en este efluente y son potenciales inhibidores de la actividad microbiana.

Figura 3

*Eficiencia biológica del hongo *Pleurotus ostreatus*, bajo la influencia de dos concentraciones de vinaza*



Nota: Barras con la misma letra no representan diferencias significativas, test de Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance, $p < 0.005$. *Fuente.* Autoría propia.

Otro estudio que relaciona altos porcentajes de vinaza con efectos negativos en el desarrollo de hongos del género *P. ostreatus* lo reporta Marín, (2017) quien evaluó la viabilidad de generar un hidrolizado rico en azúcares simples in situ, en tres medios con diferente concentración de vinaza (50% v/v, 75% v/v y 100% v/v) y al 5% p/v de cáscaras de chontaduro, a través de la hidrólisis enzimática del almidón (proveniente de las cáscaras) mediada por el metabolismo de hongos *P. ostreatus* y *P. sajor caju*, en este estudio se evidenció una relación inversa del porcentaje de vinaza empleada sobre el porcentaje de disminución de carbono orgánico total, el autor sugiere que, probablemente esté relacionado con

compuestos que afectan el crecimiento y aprovechamiento del carbono presente por parte de estos microorganismos.

Los estudios anteriormente referenciados sugieren que, en concentraciones bajas, las vinazas pueden ser sustrato de crecimiento para *Pleurotus*, siendo este un referente potencialmente aplicable para otros efluentes contaminantes, en este sentido vale la pena considerar la capacidad de decoloración de residuos similares a las vinazas por ejemplo el estudio realizado por Kravetz *et al.*, (2016). Quien evaluó la capacidad de una matriz biológica conformada por micelio de *P. ostreatus* para decolorar efluentes industriales textiles y comprobó que el micelio continuó creciendo adecuadamente al exponerlo al efluente, aun cuando éste no hubiera sido esterilizado, también se encontró que la mejor relación sustrato colonizado por *P. ostreatus* (matriz)/efluente fue de 5% masa/volumen, indicando que este sistema podría ser utilizado para la decoloración de efluentes de industrias textiles, disminuyendo así su impacto sobre los ecosistemas naturales.

De otra parte y con la perspectiva de mejorar la productividad de cultivo de los hongos, es relevante citar los resultado del estudio realizado por Li *et al.*, (2022), donde a partir de secuenciación y espectrometría de masas de los datos del micelio vegetativo de *P. ostreatus*, se registró la presencia de cambios específicos en el metabolismo secundario, hormonas, transcriptoma y proteoma contra hongos (denominados MAMP) y heridas mecánicas (denominados DAMP), el estudio reveló una variedad de posibles vías de defensa que pueden mediar en la resistencia directa, lo cual puede ser útil para identificar genes candidatos para futuras investigaciones funcionales de los hongos.

Vale la pena destacar que el crecimiento de *P. ostreatus* sobre vinazas, aunque en baja concentración, se constituye en un potencial valioso de bioconversión de este residuo, así como

otro tipo de residuos de difícil degradación, por ejemplo, residuos lignocelulósicos, donde, Arias *et al.*, (2005). encontraron que un 47% de bioconversión se ve reflejada en mayor eficiencia biológica (34 %) del experimento y obtención del 41% de carpóforos con relación al peso total de hongos cosechados.

En el presente estudio el promedio del peso de los carpóforos fue de 3.2 gramos, como resultado de 7 datos para cada tratamiento, donde la vinaza al 10% presentó el mayor peso (3.8 gramos), seguida del testigo (3,3 gramos) y por último la vinaza al 36% (2.5 gramos). Los resultados, reflejan diferencias significativas ($p < 0.005$) entre los dos tratamientos con vinaza y sin diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento de vinaza al 10%, indicando que en este porcentaje la vinaza no representa toxicidad para el hongo y contribuye positivamente en la bioconversión de compuestos aprovechados por *P. ostreatus*.

Ahmed *et al.*, (2018), demostraron que por medio del desarrollo de nuevas tecnologías, innovadoras y amigables con el medio ambiente se pueden utilizar como bases para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales, los Macrohongos pueden crecer utilizando vinaza como único componente nutricional de un medio de cultivo además de su gran capacidad para decolorar y eliminar compuestos fenólicos de la vinaza de caña de azúcar a partir de la producción de lacasa y otras enzimas ligninolíticas.

Desde el aporte nutricional de las vinazas, vale la pena mencionar que su contenido de nutrientes (Tabla 2) suple en su mayoría los requerimientos *P. ostreatus* y que de acuerdo a los resultados, sin diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.005$) con respecto al testigo sin vinaza, existe mayor tendencia hacia el crecimiento de carpóforos en los residuos con vinaza-10%, sin desconocer la facilidad de crecimiento de *P. ostreatus* en residuos vegetales sin vinaza, lo cual indica que la fuente de carbono es proporcionada en su totalidad por los residuos,

sin embargo es posible que la fuente de fosforo haya sido suministrada solamente por los residuos vegetales ya que como se registra en la Tabla 2, este elemento no fue detectado en vinaza por lo que se precisa que en futuras investigaciones se orienten a optimizar las mezclas de residuos con el fin de incrementar la producción de *P. ostreatus* (Stamets, 1999; Alarcón, Mendoza, 2023).

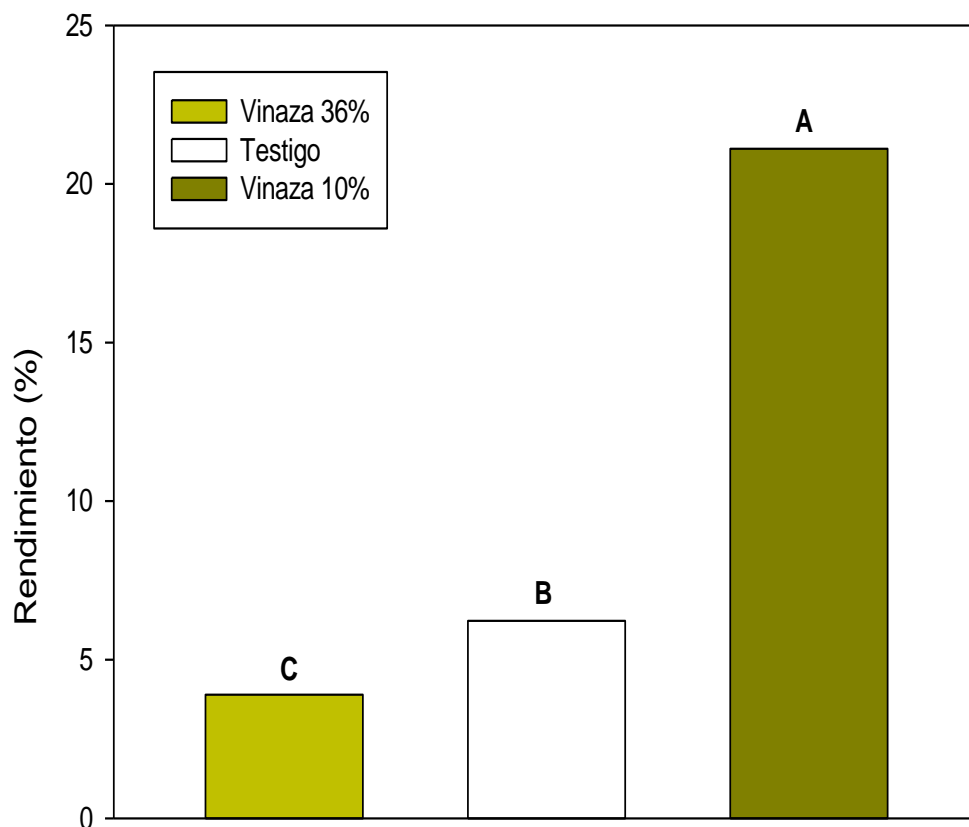
Porcentaje de rendimiento

Los porcentajes de rendimiento en el desarrollo de *P. ostreatus*, fueron los siguientes respectivamente: 21.11 y 3.91 vinaza al 10% y 36%, el testigo obtuvo un rendimiento del 6.23%, lo cual indica que el peso de los carpóforos se favoreció significativamente con vinaza en concentración del 10% (figura 4), consolidando los resultados encontrados en la eficiencia biológica. Los resultados obtenidos en porcentaje de rendimiento con aplicación de vinaza al 10%, son cercanos a lo reportado por Nuñez & Mori (2019), con rendimiento promedio de 30,9%, utilizando cascarilla de arroz como sustrato para el desarrollo de *P. ostreatus*. Por su parte el rendimiento que se obtuvo en el presente estudio, sin presencia de vinaza y con vinaza al 36% podrían compararse con los resultados obtenidos por Forero, Hoyos & Bazante, (2008), quienes evaluaron y ají (*Capsicum spp.*) como sustrato en la producción de *P. ostreatus*, con resultados de rendimiento entre 3.0% y 4.35%.

Los residuos vegetales empleados como fuente de sustrato en el presente estudio, de por sí podrían considerarse con potencial para el desarrollo de *P. ostreatus* y por su parte el uso de vinaza diluida al 10%, genera expectativas sobre el rendimiento de *P. ostreatus* y su potencial para la degradación de este residuo.

Figura 4

Rendimiento de Pleurotus ostreatus en dos tratamientos con vinaza



Nota: Barras con la misma letra no representan diferencias significativas, test de Kruskal-Wallis

One Way Analysis of Variance, $p < 0.005$. Fuente. Autoría propia

Algunas acciones de mejora que podrían contribuir para el cultivo de *P. ostreatus* bajo el efecto de diferentes dosificaciones de vinaza.

De acuerdo con los resultados obtenidos, podría ser promisorio la utilización de *P. ostreatus* en la degradación de residuos como la vinaza, sin embargo, para encaminar la optimización del proceso es importante fortalecer los siguientes procesos:

Diversificar las concentraciones de vinaza: evaluar otras concentraciones de vinaza, podría ser menor al 10% y entre el 36 y 55% y con ello evaluar la variación en la eficiencia biológica y rendimiento.

Análisis de toxicidad: Este análisis es necesario ya que, aunque existe la evidencia que *Pleurotus spp.*, es altamente eficiente para el tratamiento de residuos coloreados como vinaza (Rodríguez *et al.*, 2003), sería interesante que *P. ostreatus* lograra biotransformar los elementos obtenidos en la vinaza, de tal forma que no quedaran trazas nocivas en el hongo y poder obtener su beneficio comestible.

Análisis bromatológico: En caso de evidenciar que no existen sustancias tóxicas en *P. ostreatus* desarrollado en residuos de vinaza, podría realizarse un análisis bromatológico para evaluar su potencial nutricional y por medio de este análisis reflejar si existe relación entre la eficacia biológica y porcentaje de producción con parámetros nutricionales como el contenido de proteína y otros nutrientes presentes en *P. ostreatus*.

Se requiere establecer otros experimentos que permitan fortalecer el trabajo realizado, no obstante, este es un punto de partida para próximas investigaciones similares, no obstante, considerando variables complementarias en el desarrollo de *P. ostreatus*, así como indicadores de remoción de los residuos contaminantes

Conclusiones

Los residuos vegetales empleados como fuente de sustrato en el presente estudio podrían considerarse por sí solos con potencial para el desarrollo de *P. ostreatus* y por su parte el uso de vinaza diluida al 10%, genera expectativas sobre el rendimiento de *P. ostreatus* y su potencial para la degradación de este residuo.

Los resultados de eficiencia biológica y rendimiento de *P. ostreatus* con diferencias altamente significativas con tratamiento de vinaza en concentración del 10%, sugieren que la utilización de vinaza en concentraciones diluidas favorece el desarrollo del hongo y también se evidencia su vulnerabilidad en altas concentraciones de este residuo, sugiriendo una posible toxicidad a medida que se incrementa la concentración de vinaza.

Para fortalecer la información del crecimiento de *P. ostreatus* en residuos vegetales y vinaza, se hace necesario continuar trabajando en experimentos basados en diversas dosificaciones de vinaza, mezclas vegetales y un seguimiento exhaustivo para controlar factores que puedan inhibir el crecimiento del hongo.

Referencias Bibliográficas

- Aguiar, M. M., Wadt, L. C., Vilar, D. S., Hernández-Macedo, M. L., Kumar, V., Monteiro, R. T. R., ... & Ferreira, L. F. R. (2022). Vinasse bio-valorization for enhancement of *Pleurotus* biomass productivity: chemical characterization and carbohydrate analysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-021-02198-y>.
- Ahmed, P. M. (2016). "Biorremediación de vinazas de destilerías de alcohol por microorganismos autóctonos aislados de ambientes contaminados." ("Biorremediación de vinazas de destilerías de alcohol por ...")
- Ahmed, P. M., Pajot, H. F., de Figueroa, L. I., & Gusils, C. H. (2018). Sustainable bioremediation of sugarcane vinasse using autochthonous macrofungi. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(4), 5177-5185. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.007>
- Ahmed, P. M., De Figueroa, L. I., & Pajot, H. F. (2020). Dual Purpose of ligninolytic-basidiomycetes: Mycoremediation of bioethanol distillation vinasse coupled to sustainable bio-based compounds production. *Fungal Biology Reviews*, 34(1), 25-40. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.001>.
- Alarcón Manay, S. H., & Mendoza Pérez, L. H. (2023). Efecto biodegradador de desechos lignocelulósicos por hongos *Pleurotus ostreatus* como técnica de pretratamiento al manejo de residuos sólidos orgánicos. <https://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14095/1911/Tesis%20-%20Alarc%C3%B3n%20Manay%2C%20Santos%20-%20Mendoza%20P%C3%A9rez%2C%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Arias-Carbajal, G. M. O., García, G. B., Rodríguez, D. B., Álvarez, I., & González, A. L. (2005). Biotransformación de Residuos Lignocelulósicos con Hongos Pleurotus. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220525083>
- Arimi, M.M., Zhang, Y., Geiben, S.U. (2015). "Color removal of melanoidin-rich industrial effluent by natural manganese oxides." ("Yongjun ZHANG | Professor | Professor | Nanjing Tech University ...") *Separation and Purification Technology*. 150: 286–291.
- Ariza Miraval, W. C. (2023). Residuos lignocelulósicos como sustratos en el cultivo de *Ganoderma lucidum* Y *Ganoderma applanatum*.
https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2468/TS_WCAM_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bao, D., Kinugasa, S., & Kitamoto, Y. (2004). The biological species of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) from Asia based on mating compatibility tests. *Journal of Wood Science*, 50(2), 162-168. DOI 10.1007/s10086-003-0540-z
- Bayona, P. (2012). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de orellanas en Moniquira – Boyacá [Feasibility study for a start-up company in the mushrooms business in Moniquirá Boyacá] [Master's thesis, EAN Universidad]. Minerva Digital Library. <http://hdl.handle.net/10882/2429>.
- Canacuan, W. A. T., & Guerrero, H. S. (2016). valoración in vitro de la vinaza tratada con *p. ostreatus* en animales rumiantes. ("valoración in vitro de la vinaza tratada con en ... - ResearchGate") *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias-FAGROPEC*, 8(2), 79-83.

- Chang, S.T. (1999). World production of cultivated edible and medicinal mushrooms in 1997 with emphasis on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. in China. *Inter. J. of Medical Mushrooms* 1:291-300.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2012) Resolución 0081 de 2012 por la cual se reglamenta el uso, manejo, aplicación, almacenamiento de las vinazas y de los productos que de ella se deriven, en el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Croan, S. C. (2004). Conversion of conifer wastes into edible and medicinal mushrooms. *Forest products journal*. Vol. 54, no. 2 (Feb. 2004). Pages 68-76.
- Fernandez Uribe, Y. S. (2014). Cultivo de orellanas (*P. ostreatus*) en cinco sustratos generados en los procesos productivos agropecuarios, en dos épocas de siembra, en el municipio de Ituango [Cultivation of oyster mushrooms (*P. ostreatus*) on five substrates from agroindustrial processes in two sowing seasons in Ituango municipality] [Master's thesis, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. ("Pruning Wastes From Fruit Trees as a Substrate for *Pleurotus ostreatus* ...") Institutional Repository, National Open and Distance University. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3580>
- Ferreira, L. F. R., Aguiar, M. M., Messias, T. G., Pompeu, G. B., Lopez, A. M. Q., Silva, D. P., & Monteiro, R. T. (2011). "Evaluation of sugar-cane vinasse treated with *Pleurotus sajor-caju* utilizing aquatic organisms as toxicological indicators." ("(PDF) Evaluation of sugar-cane vinasse treated with *Pleurotus sajor ...*") *Ecotoxicology and environmental safety*, 74(1), 132-137.

- Forero, C. L., Hoyos, O. L., & Bazante, W. (2008). "Evaluación de residuos de ají (*Capsicum* spp.) como sustrato en la producción de setas comestibles (*Pleurotus ostreatus*)." ("EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE LA SEMILLA DE *Pleurotus* ...") *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 6(1), 42-53. <http://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/download/677/306>.
- Fitzgibbon, F. J., Nigam, P., Singh, D., & Marchant, R. (1995). Biological treatment of distillery waste for pollution-remediation. *Journal of Basic Microbiology*, 35(5), 293-301.
- ICIDCA. (1986). La industria de los derivados de la caña de azúcar. Editorial Científico-Técnica.
- Guillén-Navarro, G. K., Márquez-Rocha, F. J., & Sanchez-Vázquez, J. E. (1998). Producción de biomasa y enzimas ligninolíticas por *P. ostreatus* en cultivo sumergido. ("Producción de biomasa y enzimas ligninolíticas por *Pleurotus ostreatus* ...") *Rev. Iberoam. Micol*, 15, 302-306. <http://reviberoammicol.com/1998-15/302306.pdf>.
- Gonzalez, L. V. P., Gómez, S. P. M., & Abad, P. A. G. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *RIAA*, 8(2), 141-150. <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>.
- Graciano G, Avila E, Fossati L, Antunes A, Vieira J. (2009). Protein Enrichment and Digestibility of Soft Rush (*Juncus effusus*) and Rice Residues Using Edible Mushrooms *P. ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju*. ("Protein enrichment and digestibility of soft rush ... - ResearchGate") *World J Microbiol Biotechnol* (25):449-56 doi 10.1007/s11274- 008-9909-x.
- Granizo Sarmiento, J. M. (2022). Estudio del sistema de conservación post cosecha de la producción industrial del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* a partir del

aprovechamiento de residuos lignocelulósicos.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17750/1/96T00793.pdf>

Hadar, Y. y Cohen-Arazi, E. (1986). Composición química del hongo comestible *P. ostreatus* producido por fermentación. *Microbiología aplicada y ambiental*, 51 (6), 135.

Han J-H, Kwon H-J, Yoon J-Y, Kim K, Namb S-W, c JES. (2009). Analysis of the Thermal Environment in a Mushroom House Using Sensible Heat Balance and 3-D Computational Fluid Dynamics. *Biosystems Engineering* 104 417-24.

Hibbett, D. S., Bauer, R., Binder, M., Giachini, A. J., Hosaka, K., Justo, A., & Nagy, L. G. (2014). ("New recorded species of polypore for Indonesia found in Universitas ...") 14 *Agaricomycetes*. In *Systematics and evolution* (pp. 373-429). Springer, Berlin, Heidelberg.

Infante, C., Cuadrado, B., De Arco, D., Perez, K., Barrera, E., & San Juan, M. (2016). Evaluación de tusa y cáscara de maíz como sustratos para el cultivo de *pleurotus pulmonarius*. ("Resumen de Evaluación de tusa y cáscara de maíz como ... - Dialnet") *Revista de Ciencia y Tecnología*, 32(1).

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/29520>

Jaramillo, C. y Rodríguez, N. (2005). "Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetera". ("Digital repository of the National Coffee Research Centre - CENICAFE") *Boletín Técnico, CENICAFE*. 27:1-56

Kibar B, Peksen A. Modelling (2008). the Effects of Temperature and Light Intensity on the Development and Yield of Different *Pleurotus* Species. *Agricultura Tropica et Subtropica* 41(2).

Kravetz, S., Giorgi, A., & González, B. (2016). Matrix evaluation for the discoloration of textile effluents using *Pleurotus ostreatus*. *Gestión y Ambiente*, 19(2), 252.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/56223>

Kulshreshtha, S. (2012). Current trends in bioremediation and biodegradation. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 3: e114. DOI: 10.4172/2155-6199.1000e114.

La Guardia, M., Venturella, G., & Venturella, F. (2005). On the chemical composition and nutritional value of *Pleurotus taxa* growing on umbelliferous plants (Apiaceae).

(“Influencia del sustrato utilizado para el crecimiento de hongos ...”) *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 53(15), 5997–6002. <https://doi.org/10.1021/jf0307696>.

Landínez-Torres, A. Y., Fagua, C. P., López, A. C. S., Oyola, Y. A. D., & Girometta, C. E.

(2021). Pruning Wastes from Fruit Trees as a Substrate for *P. ostreatus*. (“Figure 1 from

Pruning Wastes From Fruit Trees as a Substrate for ...”) *Acta Mycologica*, 56(1). DOI:

10.5586/am.568.

Leiva Añorga, B. N. (2023). Análisis de los hongos ligninolíticos como degradadores de colorantes textiles.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/34024/Leiva%20A%C3%B1orga,%20Belen%20Nicole.pdf?sequence=8>.

Li, H., Liu, J., Hou, Z., Luo, X., Lin, J., Jiang, N., ... & Qu, S. (2022). "Activation of mycelial defense mechanisms in the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* induced by *Tyrophagus putrescentiae*."

(“Activation of mycelial defense mechanisms in the oyster

mushroom”) *Food Research International*, 160, 111708.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111708>

- López-Arévalo, A., Huerta-Palacios, G. y Sánchez-Vázquez, JE (1996). Contaminación encontrada durante varias fases del cultivo de *P. ostreatus* en el trópico de México. En *Biología de hongos y productos de hongos: actas de la 2ª Conferencia Internacional, 9-12 de junio de 1996, University Park, Pensilvania*. University Park, PA: Pennsylvania State University; [SI]: Sociedad Mundial de Biología de Hongos y Productos de Hongos, c1996.
- López-Rodríguez, C., Hernández-Corredor, R., Suárez-Franco, C., & Borrero, M. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agrícolas del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 128-137. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/1417/4438>.
- Lozano-Alvarez, J.A., Alatríste-Mondragón, F., Jauregui-Rincón, J. (2014). High removal of chemical and biochemical oxygen demand from tequila vinasses by using physicochemical and biological methods. *Environmental Technology*. 35: 1773-1784.
- Marín Cerón, J. H. (2017) Biotransformación de residuos agroindustriales mediada por hongos del género *Pleurotus* spp para la obtención de un medio de cultivo balanceado para el crecimiento heterotrófico de *Chlorella vulgaris*. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/82460/1/TG01761.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/82460/1/TG01761.pdf)
- Martínez Ramón, M. F. (2020). *Reproducción de hongo Ostra P. ostreatus en dos sustratos, Samborondón-provincia del Guayas* (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).

- McMullan, G.; Meehan, C.; Conneely, A.; Kirby, N.; Robinson, T.; Nigam, P. & Smyth, W.F. (2001). Microbial decolourisation and degradation of textile dyes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 56(1–2), pp.81–87.
- Membrillo I, Sánchez C, Meneses M, Favela E, Loera O. (2011). Particle geometry affects differentially substrate composition and enzyme profiles by *P. ostreatus* growing on sugar cane bagasse. (“Particle geometry affects differentially substrate composition and ...”) *Bioresource Technology* 102:1581-6, 2011.
- Mehrdad, J., Alireza, J. Z., Banafsheh, D., & Shahin, E. (2010). Evaluation of agricultural wastes and food supplements usage on growth characteristics of *Pleurotus ostreatus*. (“(PDF) Evaluation of agricultural wastes and food supplements usage on ...”) *African Journal of Agricultural Research*, 5(23), 3291-3296. <http://www.academicjournals.org/AJAR>
- Montenegro, S. P., Pulido, S. Y., & Vallejo, L. F. C. (2021). Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. *Notas de Campus*. DOI: <https://doi.org/10.22490/notas.3451>
- Muswati, C., Simango, K., Tapfumaneyi, L., Mutetwa, M., & Ngezimana, W. (2021). The effects of different substrate combinations on growth and yield of oyster mushroom (*P. ostreatus*). (“The Effects of Different Substrate Combinations on Growth and Yield of ...”) *International Journal of Agronomy*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9962285>
- Nasreen Z, Bajwa R, Kausar T, Baig S, Habib N, Bhatti M. (2008) Productivity of *P. ostreatus* Under Solid State Fermentation on Lignocellulosic Substrates. *Mycopath* 6(1-2):51- 6.
- Nieto-Juárez, Jessica I, Cuzcano-Ruiz, Ángel D., & Reyes-López, Walter A. (2019). "Preliminary study of the nutritional composition of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* grown in coffee pulp." (“Preliminary study of the nutritional composition of the

- edible mushroom ...”) *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 422-431. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.256>
- Núñez, W. S. D., & Mori, F. A. (2019). "Efecto de la temperatura y la concentración de la semilla (*Pleurotus ostreatus*) sobre el rendimiento en la producción de hongos comestibles utilizando cascarilla de arroz como sustrato." ("Functional Food Science and Technology Journal - UNPRG") *Functional Food Science and Technology Journal*, 1(1), 49-61. <http://revistas.unprg.edu.pe/openjournal/index.php/cytaf/article/viewFile/533/122>
- Omarini A, Nepote V, Grosso N, Zygadlo J, Albertó E. (2011). Sensory analysis and fruiting bodies characterisation of the edible mushrooms *P. ostreatus* and *Polyporus tenuiculus* obtained on leaf waste from the essential oil production industry. ("Sensory analysis and fruiting bodies characterisation of the edible ...") *International Journal of Food Science and Technology* 45:466-74.
- Pastorini L, Bernardi E, Minotto E, Soares J. (2009). "Cultivation of *Shimejii* on Elephant Grass Substrate Supplemented with Different Kinds of Bran." ("Cultivation of *Shimejii* on Elephant Grass Substrate Supplemented with ...") *Scientia Agraria* 10(1):67-74.
- Pérez, S. R., Savón, R. C. B., Díaz, M. S., & Kourouma, A. (2006). "Selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* para la decoloración de efluentes industriales." ("Selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* para la decoloración de ...") *Scientia Fungorum*, (23), 9-15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88302303>.
- Pineda-Insuasti, J. A., Ramos-Sánchez, L. B., & Soto-Arroyave, C. P. (2014). Producción de *P. ostreatus* por fermentación en estado sólido: una revisión. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(2), 13-23. [Producción de *P. ostreatus* por fermentación en estado sólido: una revisión \(redalyc.org\)](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=88302303)

Quintero (2004). Perspectivas acerca del uso y manejo de vinazas aplicadas al suelo en:

Encuentro sobre vinazas, potasio y elementos menores para una agricultura sostenible, Corpoica, 233 p.

Research and Markets. (2021). Retrieved July 31, 2021, from

<https://www.researchandmarkets.com/search.asp?q=pleurotus+ostreatus>

Retes-Pruneda, J. L. (2014). *Biorremediación de vinazas de la industria tequilera y mezcalera mediante tratamiento fisicoquímico y biológico* [Tesis Doctoral]. Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Rodriguez Perez, S.; Bermudez Savon, R.C.; Diaz, M.S. & Kourouma, A. (2006). Selección de cepas de *P. ostreatus* para la decoloración de efluentes industriales. *Revista Mexicana de Micología*, 23, pp.9–15.

Rodríguez, S., Fernández, M., Bermúdez, R. C., & Morris, H. (2003). Tratamiento de efluentes industriales coloreados con *Pleurotus* spp. *Revista Iberoamericana de Micología*, 20(4), 164-168. <https://www.reviberoammicol.com/2003-20/164168.pdf>

Rodriguez, R., & Hebert, D. (2023). Evaluación de la producción de Orellana (*Pleurotus ostreatus*) utilizando residuos sólidos y de la agroindustria. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/4567/Rodriguez%20Rodriguez%20Dairon%20Hebert.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Rusalén R. (2009) Estudio del escaldado como un parámetro de control de proceso del *P. ostreatus* destinado a congelado y/o conserva.

Rulli, M. M., Del Gobbo, L. M., & Colin, V. L. (2023). Harmful effects of sugarcane vinasse on water bodies: conventional remediation technologies. In *Green Sustainable Process for*

Chemical and Environmental Engineering and Science (pp. 375-394). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.10.018>

Salgado, M. T., Cock, L. S., & Castro, K. (2005). Eficiencia biológica de *Pleurotus sajor-caju*.

Revista Institucional Universidad Tecnológica Del Chocó, (23), 41-44.

Salmones, Dulce, Mata, Gerardo, Gaitán-Hernández, Rigoberto, & Ortega, Carlos. (2020).

"Cepas de *Pleurotus pulmonarius* con alta capacidad productiva seleccionadas de micelios dicarióticos." ("Cepas de *Pleurotus pulmonarius* con alta capacidad productiva ...") *Scientia fungorum*, 50, e1270. Epub 10 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.33885/sf.2020.50.1270>.

Sánchez, A., Ysunza, F., Beltrán, M., & Esqueda, M. (2005). Cultivo del hongo comestible

Pleurotus sobre residuos vitivinícolas y su manejo poscosecha. *Trabajo de tesis de Maestría del Primer autor, realizado en el Área de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal*. ("Tesis Sobre El Cultivo De La Cebolla Gratis Ensayos")

Sánchez, C. (2010). Cultivation of *P. ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(5), 1321-1337.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-009-2343-7>

Sánchez Palacios, A. (2015). Producción de hongos comestibles del género *Pleurotus* a partir de los residuos vegetales provenientes de la plaza de mercado del municipio de quibdó. ("producción de hongos comestibles del género *pleurotus*").

Shrivastava, B., Thakur, S., Khasa, Y. P., Gupte, A., Puniya, A. K., & Kuhad, R. C. (2011).

"White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed." ("Sci-Hub | White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich ...") *Biodegradation*, 22(4), 823-831.

- Stamets, P. (1999). *Mycomedicinals: an informational booklet on medicinal mushrooms*
Olympia. WA: Mycomedia, 232-235.
- Straatsma, G., Gerrits, J. P., Thissen, J. T., Amsing, J. G., Loeffen, H., & Van Griensven, L. J. (2000). "Adjustment of the composting process for mushroom cultivation based on initial substrate composition." ("Some factors involved in Phase II of mushroom compost preparation") *Bioresource Technology*, 72(1), 67-74.
- Strong, P.J. & Burgess, J.E. (2008). "Fungal and enzymatic remediation of a wine lees and five wine-related distillery wastewaters." ("Fungal and enzymatic remediation of a wine lees and five wine-related ...") *Bioresource Technology*, 99(14), pp.6134–6142.
- Tapie, W. A., Garcia, D. P., & Guerrero, H. S. (2016). Biodegradación de vinazas de caña de azúcar mediante el hongo de pudrición blanca *P. ostreatus* en un reactor de lecho empacado. ("[PDF] BIODEGRADACIÓN DE VINAZAS DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE EL HONGO DE ...") *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(2), 145-150.
- Toledo M. (2008). Residuos de maíz y quinua como potenciales sustratos para el cultivo de hongos comestibles *P. ostreatus* [Ingeniería]. Riobamba: Escuela Politécnica de Chimborazo.
- Varnero M. (2010). Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*P. ostreatus*). ("Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del ...") *Información Tecnológica*.21(2):13-20.
- Vásquez Montenegro, D. I. (2022). Producción de hongos gourmet (*pleurotus ostreatus* jacq.) mediante el aprovechamiento residuos lignocelulósicos en la Granja Experimental La Pradera (Bachelor's thesis).

http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/8638/1/Dissertacao_Tais_Kopp_da_Silveira.pdf.

Vega, Aracelly, & Franco, Heriberto. (2013). "Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos." ("Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos ...") *Información tecnológica*, 24(1), 69-78. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000100009>.

Villavicencio Yanos, C. M. (2023). *Evaluación de las características Químicas y Físicas de Exopolisacardos obtenidos a partir de Cepas de PLEUROTUS SPP con propuesta de Biorremediación de Aguas Residuales Industriales* (Master's thesis). <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/7021/1/VILLAVICENCIO%20YANOS%20CHRISTIAN%20MIGUEL.pdf>

Wagh, M.P. & Nemade, P.D. (2015). Treatment of distillery spent wash by using chemicalcoagulation (CC) and electro - coagulation [EC]. *American Journal of EnvironmentalProtection*, 3(5), pp.159–163.

Woller, R. (2007). The Pearl Oyster Mushroom. http://bioweb.uwlax.edu/bio203/2011/woller_ryan/habitat.htm.

Zelaya Benavidez, E. A. (2022). Evaluación de biodigestores para la obtención de biogás y biofertilizante a partir de las vinazas del mezcal. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/664/1/Zelaya%20Benavidez%20E.%20A.%20%282022%29.pdf

Apéndice

Apéndice A

Porcentaje Eficiencia biológica

Kruskal-Wallis One Way Analysis of Variance on Ranks

Data source: Data 1 in pleurotus mayo 2023

Dependent Variable:

One Way Analysis of Variance martes, mayo 02, 2023, 03:37:20 p.m.

Data source: Data 1 in pleurotus mayo 2023

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Testigo3	0	56.000	2.000	1.155	
36%	3	0	41.667	1.528	0.882
10%	3	0	56.000	3.000	1.732

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	410.889		205.444	40.196 <0.001
Residual	6	30.667	5.111		
Total	8	441.556			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = <0.001$).

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
Testigo vs. 36%	14.333	3	10.981	<0.001	Yes
Testigo vs. 10%	0.000	3	0.000	1.000	No
Ten percent vs. 36%	14.333	3	10.981	<0.001	Yes

Apéndice B

Porcentaje Rendimiento

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 1 in pleurotus mayo 2023

Normality Test: Failed (P < 0.050)

Equal Variance Test: Passed (P = 1.000)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Testigo3	0	3.910	0.000	0.000	
36%	3	0	6.230	0.000	0.000
10%	3	0	21.110	0.000	0.000

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	522.637		261.318	>1e40 <0.001
Residual	6	0.000	0.000		
Total	8	522.637			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0.001).

Power of performed test with alpha = 0.050: 1.000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0.050
Ten percent vs. Testigo	17.200	3	(+inf)	<0.001	Yes
Ten percent vs. 36%	14.880	3	(+inf)	<0.001	Yes
36% vs. Testigo	2.320	3	(+inf)	<0.001	Yes