



Análisis de la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* obtenida a partir de los subproductos de la etapa de despulpado del café

Analysis of the production of edible fungi *Pleurotus ostreatus* obtained from by-products of the coffee pulp stage

Hilda Mendoza; Juan Juscamaita; Lawrence Quipuzco*

Universidad Nacional Agraria - La Molina, Av. La Molina s/n- Lima-Perú.

RESUMEN

La pulpa de café representa un alto porcentaje de los residuos sólidos del proceso de beneficio húmedo. La pulpa es un material orgánico y rico en azúcares que es mal dispuesto en las fincas representando una fuente de contaminación de suelo, cuerpos de agua y riesgo a la salud humana. La presente investigación tiene por objetivo analizar la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* a partir de los subproductos de la etapa de despulpado del café, para lo cual se plantearon tres tratamientos: tratamiento 1 (T₁: 100% viruta de bolaina blanca), tratamiento 2 (T₂: 50% pulpa de café y 50% viruta de bolaina blanca) y el tratamiento 3 (T₃: 100% pulpa de café) evaluados mediante tres indicadores, obteniendo los siguientes resultados: Eficiencia biológica de 37,2%, 96,5% y 15,7% para los tratamientos T₁, T₂ y T₃, respectivamente; una tasa de producción de 0,47%, 0,75% y 0,13% para los tratamientos T₁, T₂ y T₃, respectivamente; y una tasa de biodegradación del sustrato de 22,9%, 31,8% y 14,0% para los tratamientos T₁, T₂ y T₃, respectivamente. Con esta investigación se demostró que la pulpa de café mezclada con viruta de bolaina blanca resultan ser un sustrato adecuado para la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*.

Palabras clave: pulpa de café; *Pleurotus ostreatus*; tasa de biodegradación del sustrato; viruta de bolaina blanca.

ABSTRACT

Coffee pulp represents a high percentage of solid waste from the wet process. Pulp is an organic and sugar-rich material that is poorly disposed on farms representing a source of contamination of soil, freshwater and risk to human health. The objective of this research is to analyze the production of the edible fungus *Pleurotus ostreatus* from the by-products of the coffee pulping stage, for which three treatments were proposed: treatment 1 (T₁: 100% white pellet chip), treatment 2 (T₂: 50% coffee pulp and 50% white bolaine chip) and treatment 3 (T₃: 100% coffee pulp) evaluated by three indicators, obtaining the following results: Biological efficiency of 37.2%, 96.5% and 15.7% for treatments T₁, T₂ and T₃, respectively; a production rate of 0.47%, 0.75% and 0.13% for treatments T₁, T₂ and T₃, respectively; and a substrate biodegradation rate of 22.9%, 31.8% and 14.0% for treatments T₁, T₂ and T₃, respectively. With this investigation it was shown that coffee pulp mixed with White bolaine chip turns out to be a suitable substrate for the production of the edible fungus *Pleurotus ostreatus*.

Keywords: coffee pulp; *Pleurotus ostreatus*; substrate biodegradation rate; white bolaine chip.

1. Introducción

Las diferentes etapas que son parte del proceso de producción de granos de café generan subproductos, ya sean sólidos o líquidos, los cuales suelen tener un manejo inadecuado que terminan afectando la calidad de las aguas superficiales; degradación y posible desertificación del suelo; además de problemas en la salud de las personas, debido a la formación de "focos infecciosos" según Mego (2010). Proveniente de la etapa de despulpado, se obtiene alrededor del 39-47 % del total de subproductos, conformados en su mayoría

por la pulpa de café, según Rodríguez y Jaramillo (2005). Para Díaz (2017) y Arguedas (2014), la pulpa de café es el exocarpio del cerezo del cafeto que se caracteriza por tener una alta concentración de azúcares reductores y humedad, lo que le hace tener una consistencia pegajosa y compacta y un especial manejo, pues es mucho más susceptible a la fermentación y atractivo a microorganismos y vectores. Al día de hoy, hay estudios que describen diferentes tipos de tratamientos a los subproductos orgánicos. Estas técnicas están sujetas a factores económicos, espaciales, naturaleza de los subpro-

ductos, condiciones climáticas, conocimientos de la técnica, etc. Zárate (2015) describe a *Pleurotus ostreatus* como hongos comestibles basidiomicetos descomponedores a condiciones húmedas y frías que crecen sobre restos vegetales ricos en polímeros, tales como: la celulosa, la hemicelulosa y la lignina; mediante la realización de la pudrición blanca. Desde la década de los noventa, se empezó a producir *Pleurotus ostreatus* a nivel de laboratorio, logrando ser la tercera especie más cultivada en el mundo debido principalmente a lo siguiente: Su facilidad para desarrollarse sobre diferentes tipos de sustratos; no requerir de condiciones ambientales muy exigentes para su producción; y contener excelentes propiedades nutraceuticas. Adicional y particularmente, posee un mercado creciente en el Perú y en el mundo.

Esta investigación busca ampliar el conocimiento sobre la producción de *Pleurotus ostreatus* a partir de la pulpa de café, cooperando en la sostenibilidad de una actividad tan difundida en el país como lo es la industria cafetalera. En tal sentido, este trabajo tiene por objetivo analizar la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* a partir de los subproductos de la etapa de despulpado del café.

2. Material y métodos

La presente investigación se realizó durante los meses de mayo a noviembre del 2018 en las instalaciones del Laboratorio de Biorremediación "Luis Basto Acosta" de la Universidad Nacional Agraria La Molina- UNALM.

Para analizar la producción de *Pleurotus ostreatus*, se formularon tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, teniendo así en total nueve unidades experimentales (U.E). Los tratamientos se diferenciaban entre sí por el porcentaje en peso de pulpa de café que los conforman: Tratamiento 1 (T1): 100% viruta de bolaina blanca. Tratamiento 2 (T2): 50% pulpa de café y 50% viruta de bolaina blanca. Tratamiento 3 (T3): 100% pulpa de café. Cada unidad experimental contenía 1,5 kg de peso fresco.

2.1. Caracterización fisicoquímica de sustratos

Se caracterizó la pulpa de café y la viruta de bolaina blanca mediante un análisis de materia orgánica completa, analizándose: pH, C.E, humedad (%), materia orgánica (%), nitrógeno (%), fósforo (%), potasio (%), calcio (%), magnesio (%) y sodio (%).

2.2. Producción de *Pleurotus ostreatus*

Etapa I: Preparación del inóculo

Preparación del medio de cultivo PDA: Se colocó 2 g de agar agar, 1,8 g de dextrosa y 50 mL de una solución de 20 g de papa hervida; después se

agregó 50 mL de agua destilada. El medio de cultivo fue esterilizado en autoclave, durante 121 °C durante 30 minutos. Luego usando una cámara de flujo laminar y el mechero Bunsen, se colocó 05 pequeños trozos de carpóforo de *Pleurotus ostreatus* de aprox. 0,5 cm de tamaño, previamente lavado durante tres minutos en agua destilada esterilizada, sobre una placa Petri esterilizada que contenía 15 mL del medio de cultivo PDA preparado. Durante 10 días a 30 °C en oscuridad, se obtuvo el cultivo madre. Luego, se preparó nuevamente el cultivo de PDA, se autoclavó y usando la cámara de flujo laminar y el mechero Bunsen, se colocó 1 trozo de aprox. 1 cm² sobre una placa Petri esterilizada que contenía 15 mL del medio de cultivo PDA. Durante 10 días a 30 °C en oscuridad, se obtuvo el cultivo secundario.

Preparación de la semilla primaria o spawn primario: Por experiencias previas, los granos de trigo luego de ser lavados fueron cocidos y luego esterilizados (121 °C, durante 30 minutos); luego, bajo condiciones asépticas, 5 trozos de aproximadamente 0,5 cm de tamaño del micelio del cultivo secundario, se colocó sobre el trigo contenido en bolsas de polipropileno. Se colocaron las bolsas a 30 °C a oscuras durante 15 días, hasta que estén totalmente colonizada por el micelio.

Preparación de la semilla secundaria o spawn secundario: Luego, bajo condiciones asépticas, se colocaron granos de la semilla primaria colonizada por el micelio sobre el trigo contenido en bolsas de polipropileno. Se sembró 2% p/p de granos de trigo que provienen de la semilla primaria. Se colocaron las bolsas a 30 °C a oscuras durante 15 días, hasta que estén totalmente colonizadas por el micelio.

Etapa II: Preparación del sustrato

Deshidratación: Aproximadamente 10 kg de pulpa de café fresca y 4 kg de viruta de bolaina blanca se sometieron a 70 °C hasta que alcanzaron un peso seco constante.

Corte: Se redujo el tamaño de los sustratos secos a 2-3 cm.

Hidratación: Los sustratos fueron hidratados hasta alcanzar una humedad del 70% aprox. Se utilizó el cálculo correspondiente y la prueba del puño para corroborar que el nivel de hidratación era el deseado. Luego, se armaron las nueve unidades experimentales según los tratamientos antes descritos.

Esterilización: Las nueve unidades experimentales fueron autoclavadas durante 30 minutos a 121 °C.

Etapa III: Siembra e Incubación

Siembra: Se agregaron a las unidades experimentales granos de la semilla secundaria equivalente al 5% de su peso fresco.

Incubación de los sustratos: A 30 °C, en un lugar oscuro fueron colocadas las nueve unidades experimentales durante 20 días. Se esperó que las bolsas estén totalmente colonizadas (blancas) y se observó pequeños puntos blanquecinos esféricos llamados primordios.

Etapa IV: Fructificación

Inducción- Shock Térmico: Las 9 unidades experimentales una vez que lograron estar totalmente colonizadas, fueron sometidas durante dos horas a 8 °C, sufriendo así un shock térmico.

Fructificación de los sustratos: En secciones cercanas a los primordios, se realizaron pequeños cortes con hojas de bisturí previamente esterilizadas. Luego fueron expuestas a luz durante 12 horas, a una temperatura que iba desde 18,5–23 °C en un espacio con ventilación.

Cosecha de Basidiocarpos: Se utilizó el método de la torsión: Se colocaron los dedos sobre la base del cuerpo fructífero y se enrollaba hasta que los pies del macromiceto se desprendía del sustrato.

La producción de *Pleurotus ostreatus* se evaluó utilizando tres indicadores: la Eficiencia Biológica está relacionado con el rendimiento de cada oleada de producción de hongos. Es el porcentaje de hongos frescos obtenidos en relación con la materia seca del sustrato utilizado (Zárate, 2015).

$$EB = \frac{PFto}{PSS} * 100$$

Donde: EB: Eficiencia biológica, expresada en porcentaje (%). PFto: Peso fresco total de basidiocarpos, expresado en kilogramos (kg). PSS: Peso seco del sustrato, expresado en kilogramos (kg).

Tasa de producción: relaciona la eficiencia biológica y el tiempo en días para completar un ciclo del cultivo o período productivo (PP) a partir de la siembra. Indica el potencial productivo diario luego de la siembra (Zárate, 2015):

$$Tp = \frac{EB}{PP}$$

Donde: Tp: Tasa de producción. EB: Eficiencia biológica, expresada en porcentaje (%). PP: Período productivo a partir de la siembra (acto de colocar sobre el sustrato final granos de cereal invadidos con micelio de *Pleurotus ostreatus*), en días.

Tasa de biodegradación del sustrato: relaciona este parámetro con la cantidad de sustrato húmedo que fue degradado y absorbido por los aislamientos de *Pleurotus ostreatus*, situación que se puede comparar como una rápida liberación de nutrientes que podrían ser aprovechadas por las plantas

cuando los sustratos sean incorporados al suelo (Zárate, 2015).

$$Bs = \frac{(PSHini - PSHfin)}{PSHini} * 100$$

Donde: Bs: Tasa de biodegradación del sustrato, en porcentaje (%). PSHini: Peso del sustrato húmedo inicial, en kilogramos (kg). PSHfin: Peso del sustrato húmedo final, en kilogramos (kg).

2.2. Caracterización fisicoquímica de la pleurotina

Se tomó 0,5 Kg peso seco de cada pleurotina que proviene de los tres tratamientos y se enviaron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía y se le realizó el Análisis de materia orgánica completo, el cual incluye: pH, C.E, humedad (%), materia orgánica (%), nitrógeno (%), fósforo (%), potasio (%), calcio (%), magnesio (%) y sodio (%).

2.3. Análisis estadístico

Se determinó si existe diferencia significativa entre los valores medios de los indicadores de producción de *Pleurotus ostreatus*: Eficiencia biológica. Tasa de producción y Tasa de biodegradación del sustrato de cada unidad experimental, para lo cual se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) y se realizó el análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de confianza de 95%. La variable independiente fueron los sustratos de cada tratamiento, el factor fue la relación sustrato / porcentaje de peso y las unidades experimentales fueron las bolsas de polipropileno que contienen los sustratos.

Se utilizó la prueba Tukey para la comparación entre medias.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización fisicoquímica de los sustratos

En la [Tabla 1](#) se muestran la composición fisicoquímica de la viruta de bolaina blanca y de la pulpa de café en base seca, ambos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

De las variables determinadas, las más importantes y cruciales para su utilización como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus* son el pH y la relación C/N (Rodríguez, 1996).

Los valores de pH de 6,22 y 6,39 se encuentran dentro de los valores de acidez óptimos, de 6,5 a 7, descrito por Sánchez (1994) y de 5 a 6 descrito por Zárate (2015). Se sabe que valores menores inhiben el desarrollo del micelio de *Pleurotus ostreatus*.

Tabla 1

Composición fisicoquímica de viruta de bolaina blanca y la pulpa de café en base seca

Variable	Viruta de bolaina blanca	Pulpa de café
pH	6,22	6,39
C.E dS/m	0,46	1,63
M.O %	97,64	92,98
N %	0,27	0,27
P2O5 %	0,1	0,46
K2O %	0,24	1,05
CaO %	0,82	1,65
MgO %	0,06	0,29
Humedad %	8,08	11,82
Na %	0,03	0,04
C%	56,64	53,93
C/N	209,76	199,75

Los porcentajes de carbono 56,64 y 53,93, correspondientes a la viruta de bolaina blanca y la pulpa de café, respectivamente y se relacionan directamente con el favorecimiento del crecimiento y desarrollo del micelio en el sustrato, según López-Rodríguez (2008).

Los porcentajes de nitrógeno 0,27 tanto para la viruta de bolaina blanca como la pulpa de café podrían recaer en el contenido proteico de los cuerpos fructíferos. (López-Rodríguez, 2008). Otros autores señalan que, al adicionar harinas, granos de cereal, estiércol o urea aumentan la concentración de nitrógeno, así como otros macronutrientes (Ruilova y Hernández, 2014). Sánchez y Royse (2001) recomienda que, en sustratos tipo aserrines, es decir, pobres de nitrógeno, suplementar al sustrato con salvados de cereales, ricos en nitrógeno.

Las ratios de C/N de 209,76 y 199,75 correspondientes a la viruta de bolaina blanca y la pulpa de café, respectivamente, se relacionan directamente con la producción de biomasa, según Vega (2016) y se encuentran dentro del rango en el que crece *Pleurotus ostreatus*: de 30 a 300 (Garzón y Cuervo, 2008) siendo bastante amplia y no presentando un valor óptimo (Ruilova y Hernández, 2014). Según Magdaleno (2013) muchos investigadores califican al ratio C/N como un parámetro de "influencia significativa" en relación al desarrollo y producción de metabolitos de *Pleurotus ostreatus*.

Para López-Rodríguez (2008) es la cantidad de carbono presente en el sustrato lo que ayuda directamente al crecimiento y la formación de cuerpos fructíferos de *P. ostreatus*. En residuos maderables, aserrín y viruta, suelen contener niveles aprox. de 50% de carbono, 42% de

oxígeno, 6% de hidrógeno y un 2% de nitrógeno; tal como lo indica Gavidia y León (2016).

Para López-Rodríguez (2008) las características físicas de los sustratos, tal como la textura, también influyen en el desarrollo de *Pleurotus ostreatus*, pues se relaciona con la difusibilidad del oxígeno en el sustrato. Sustratos compactables, tal como la pulpa de café, suelen tardar más días en la invasión del sustrato que sustratos de aspecto más fibroso, tal como la viruta de bolaina blanca.

3.2. Análisis de la producción

Eficiencia biológica: El máximo valor promedio de eficiencia biológica se obtuvo con el tratamiento 2, tratamiento que consiste en una mezcla 50:50 de pulpa de café y viruta de bolaina blanca alcanzando un valor de 96,5% (Tabla 2); un valor intermedio, 37,2%, se obtuvo en el tratamiento 1, el cual consiste sólo viruta de bolaina blanca; finalmente, el menor valor se obtuvo en el tratamiento 3, el cual está conformado sólo por pulpa de café alcanzando el valor de 15,7%.

La eficiencia biológica alcanzada por el tratamiento 1 es menor a la citada por Albán (2018) quien reportó 44,97% en el mismo sustrato. La mayor eficiencia biológica alcanzada en esta investigación se dio en el tratamiento 2 la cual es más alta a la citada por Muñoz (2017), quien reportó 95,4% utilizando la misma cepa sobre panca de maíz y a la citada por Zárate (2015), quien reportó una eficiencia biológica promedio de 85,41 % utilizando panca de maíz y paja de arroz como sustratos sembrando una cepa proveniente del Módulo de investigación de hongos comestibles de la facultad de Agronomía de la UNALM. La eficiencia biológica alcanzada por el tratamiento 3 fue la más baja y dista de valores entre 67,1 y 225,2, los acostumbrados para *Pleurotus spp.* sembrados en pulpa de café.

Tabla 2

Eficiencia biológica promedio

Tratamiento	Eficiencia biológica promedio
T1: Viruta de bolaina blanca	37,2%
T2: Viruta de bolaina blanca + pulpa de café (1:1)	96,5%
T3: Pulpa de café	15,7%

En la Figura 1 se compara la eficiencia biológica de los tres tratamientos estudiados. Eficiencias biológicas con valores menores a 40%, valor mínimo recomendado para ser considerada una producción rentable según Díaz y Carvajal (2014) y Ramón y Ramón (2012), tales como los tratamientos 1 y 3 con 37,2% y 15,7%, respectivamente, los cuales contienen un solo sustrato

coincide con lo señalado por Fernández (2004) quien indicaba que agregar otros sustratos o suplementos mejora la producción de cuerpos fructíferos.

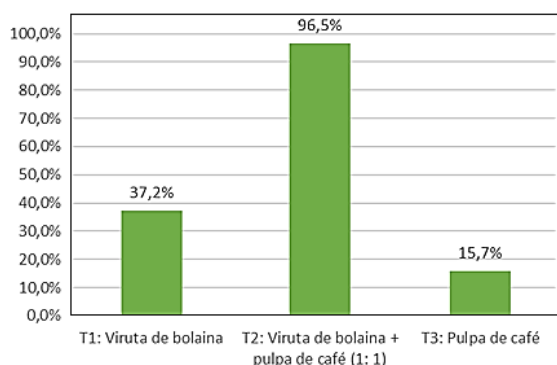


Figura 1. Comparación de las eficiencias biológicas promedio.

Bermúdez et al. (2014) señaló la importancia de la cantidad de nitrógeno en la producción de biomasa; Gavidia y León (2016) menciona que suplementar con materiales con alta concentración de proteínas, tales como salvado de trigo, arroz, maíz, etc., aumentan notablemente la eficiencia biológica; por otro lado, Rulova y Hernández (2014) indican que la harina de soya, salvado de arroz, trigo, harina de alfalfa o urea enriquece el sustrato y eleva la productividad.

El obtener valores pequeños de eficiencia biológica se “soluciona” mediante el tratamiento previo que se le realiza al sustrato, tales como: el compostaje; haciendo diferentes mezclas; y adicionando aditivos y suplementos (Calzado, 2010). Vásquez (1995) recomienda realizar una fermentación previa a la pulpa de café, liberándola así de azúcares reductores y reduciendo la presencia de moho y bacterias, organismos competidores de *Pleurotus ostreatus*. También recomienda un proceso de pasteurización, donde la pulpa quedaría liberada de compuestos solubles en agua, los cuales suelen inhibir la actividad enzimática del hongo.

Para Ardón (2007) la clave de una exitosa cosecha de *Pleurotus ostreatus* se basa en la preparación del sustrato y proporcionar las condiciones ambientales mínimas necesarias según cada etapa correspondiente para el correcto desarrollo. Por otro lado, Sánchez y Royse (2001) recomienda que, en sustratos tipo aserrines, es decir, pobres de nitrógeno, suplementar al sustrato con salvados de cereales o sulfato de manganeso, fuentes de nitrógeno orgánico e inorgánico, respectivamente (Sánchez y Royse, 2001); de esta manera, se logra que la producción del hongo no decaiga una vez que se acabe el nitrógeno presente en el sustrato (López-Rodríguez, 2008)

La diferencia porcentual de eficiencias biológicas de los tratamientos 1 y 3 puede relacionarse a que la viruta de bolaina blanca es un sustrato rico en carbono mucho más que la pulpa de café, por lo que es lógico que se presente mayor producción en el tratamiento 1, conformado en su totalidad por bolaina blanca; lo mencionado coincide con lo señalado por Gavidia y León (2016).

Fernández (2004) señala que la presencia de un co-sustrato aumenta la productividad considerablemente. En ese sentido, es lógico que en el tratamiento 2, conformado por la pulpa de café y viruta de bolaina, se haya logrado una eficiencia biológica de 96,5 %, pues en conjunto los dos materiales alcanzan mayores niveles de C/N, una mejor textura de la mezcla y un adecuado pH; variables claves en el sustrato que limitan la invasión de *Pleurotus ostreatus*.

El análisis de varianza y la prueba Tukey indican a 95% de probabilidad que si hay diferencias significativas entre la eficiencia biológica promedio del tratamiento 2 y las eficiencias biológicas promedios del tratamiento 1 y el tratamiento 3. Asimismo, entre las eficiencias biológicas promedios del tratamiento 1 y 3 no existen diferencias significativas.

3.3. Tasa de producción

En la Tabla 3 se puede observar las tasas de producción según cada tratamiento. Teniendo en cuenta que se registraron tres oleadas en un periodo de producción total de 109 días, se tiene que: el máximo valor promedio de tasa de producción se obtuvo con el tratamiento 2, tratamiento que consiste en una mezcla 50:50 de pulpa de café y viruta de bolaina blanca alcanzando un valor de 0,75; un valor intermedio, 0,47, se obtuvo en el tratamiento 1, el cual consiste sólo de viruta de bolaina blanca; finalmente, el menor valor se obtuvo en el tratamiento 3, el cual está conformado sólo por pulpa de café alcanzando el valor de 0,13.

Tabla 3
Tasa de producción promedio

Tratamiento	Tasa de producción promedio
T1: Viruta de bolaina blanca	0,47
T2: Viruta de bolaina blanca + pulpa de café (1:1)	0,75
T3: Pulpa de café	0,13

En la Figura 2 se compara la tasa de producción de los tres tratamientos estudiados. Es de esperarse que a mayores valores de C/N correspondan a mayores tasas de producción, puesto que existe una relación directa entre el ratio C/N del sustrato y la invasión del micelio, ya que brindan la energía

necesaria para la formación de nuevas células y componentes celulares, según López-Rodríguez (2008).

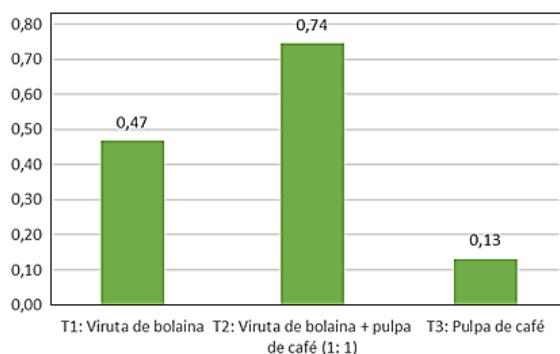


Figura 2. Comparación de las tasas de producción promedio.

Asimismo, hay que tener en cuenta que valores bajos de tasa de producción, como los obtenidos en esta investigación pueden deberse a que no se adicionó “agentes de adsorción, nutrientes y sales” tal como lo señalan López-Rodríguez (2008) y Gavidia y León (2016) o disoluciones del tipo ergosterol y/o aminoácidos (Magdaleno, 2013) que son aceleradores del crecimiento micelial, haciendo la producción económicamente mucho más rentable. Otra característica del sustrato que afecta negativamente la tasa de producción, según López-Rodríguez (2008) es el exceso de compactación puesto que no permite la entrada adecuada de oxígeno, limitando el desarrollo del micelio. Bajo este escenario, es el tratamiento 1 y 2 los que tuvieron mejor oxigenación por la naturaleza de sus sustratos que no permitían una excesiva compactación, todo lo contrario, sucedía en el tratamiento 3.

Las tasas de producción obtenida coinciden con la forma que relaciona Rodas (2009) la eficiencia biológica y la tasa de producción: que a mayor eficiencia biológica menor es el periodo productivo. El análisis de varianza y la prueba Tukey indican a 95% de probabilidad que si hay diferencias significativas entre la tasa de producción promedio del tratamiento 3 y las tasas de producción promedios del tratamiento 1 y tratamiento 2. Asimismo, entre las tasas de producción promedios del tratamiento 1 y 2 no existen diferencias significativas.

3.4. Tasa de biodegradación del sustrato

En la Tabla 4 se puede observar la tasa de biodegradación del sustrato promedio según cada tratamiento. El máximo valor promedio de biodegradación del sustrato se obtuvo con el tratamiento 2, tratamiento que consiste en una mezcla 50:50 de

pulpa de café y viruta de bolaina blanca alcanzando un valor de 31,8%; un valor intermedio, 22,9%, se obtuvo en el tratamiento 1, el cual consiste sólo de viruta de bolaina blanca; finalmente, el menor valor se obtuvo en el tratamiento 3, el cual está conformado sólo por pulpa de café alcanzando el valor de 14,0%.

Tabla 4

Tasa de biodegradación de sustrato promedio

Tratamiento	Tasa de biodegradación del sustrato promedio
T1: Viruta de bolaina blanca	22,9%
T2: Viruta de bolaina blanca+ pulpa de café (1:1)	31,8%
T3: Pulpa de café	14,0%

En la Figura 3 se compara la biodegradación de sustrato de los tres tratamientos estudiados.

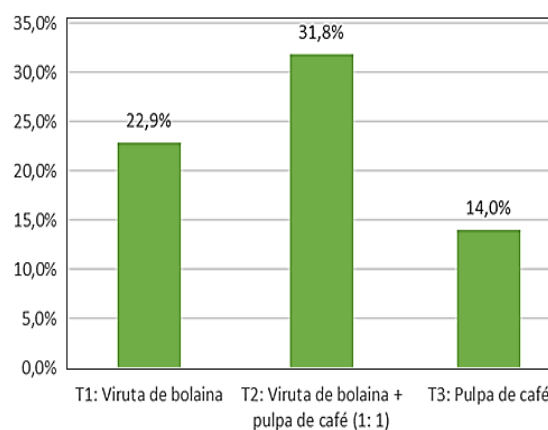


Figura 3. Comparación de las tasas de biodegradación del sustrato promedio.

Según Albán (2018) este indicador muestra que tan disponibles se encuentran los nutrientes presentes en el sustrato para su absorción por *Pleurotus ostreatus*; en sustratos con alto contenido de lignina y celulosa se relaciona directamente el consumo de éstos por parte de *Pleurotus ostreatus* con mayores valores de biodegradación de sustrato, lo que a su vez podría resultar en una relación positiva entre la E.B y la tasa de biodegradación del sustrato. La biodegradación del sustrato también puede ser muy útil una vez que los sustratos culminaron sus ciclos reproductivos y desean ser utilizados como mejorador de suelos o abono orgánico, puesto que mayores valores de biodegradación de sustrato indican que las plantas podrán absorber más fácilmente los nutrientes aún remanentes (Zárate, 2015).

Pleurotus ostreatus es capaz de degradar moléculas como la lignina y de compuestos aromáticos, gracias a la presencia de un sistema extracelular de enzimas oxidativas como celulasas,

xilanasas, lacasa, Lignino peroxidasa, Manganese peroxidasa y peroxidasa versátil (Paredes et al., 2017; Trejo et al., 2017). Según Vaca et al. (2014) en hongos de pudrición blanca como *Pleurotus ostreatus* se produce más y diferentes isoformas de lacasas, las cuales son glicoproteínas oxidorreductasas constituidas por átomos de cobre y que suelen preferir medios con pH ácido, además de ser termotolerantes (Paredes et al., 2017) Las lacasas catalizan la reducción del oxígeno a agua y a la oxidación de fenoles, aminas, ligninas y otros compuestos inorgánicos (García et al., 2017).

Las tasas de biodegradación reportadas coinciden con lo indicado por Ardón (2007), quien relaciona una mayor tasa de bioconversión a una mayor tasa de biodegradación. Además, la tasa de biodegradación es un indicador asociado al potencial productivo de la cepa.

El análisis de varianza y la prueba Tukey indican a 95% de probabilidad que si hay diferencias significativas entre la tasa de biodegradación del sustrato promedio del tratamiento 1 y la tasa de biodegradación del sustrato promedio del tratamiento 2 y tratamiento 3. Asimismo, entre la tasa de biodegradación del sustrato promedio del tratamiento 1 y 3 también existen diferencias significativas.

3.5. Factores ambientales

Temperatura ambiental: La etapa I hasta la etapa III se realizaron en una incubadora a 30 °C. En la etapa IV, correspondiente a la fructificación, la temperatura ambiental se registró usando un termohigrómetro digital. El valor máximo fue de 23 °C y el mínimo 18,5 °C, con un promedio de 20,8 °C. Estos valores van dentro de los recomendados para *Pleurotus ostreatus*.

Humedad del sustrato: La humedad del sustrato ideal para la siembra de *Pleurotus ostreatus* se determinó con la prueba del puño, esta fue 70% aproximadamente.

Humedad relativa: La temperatura ambiental se registró usando un termohigrómetro digital. En la etapa IV, correspondiente a la fructificación, los valores de la humedad relativa fue un máximo de 85% y un mínimo de 75%, con un promedio de 70%. Para mantener la humedad relativa dentro de esos rangos se hacían riegos diarios sobre las nueve unidades experimentales.

Iluminación: La sala de fructificación alcanzó un máximo de 603,2 lux y un mínimo de 445,4 lux, dando un promedio de 524,3 lux durante 12 h al día.

Ventilación: La entrada de aire a la sala de fructificación fue por medio de ventilación natural.

3.6. Contaminación, plagas y enfermedades

No se presenció ni contaminación, ni enfermedades en ninguno de los tratamientos. Sin embargo, a la mitad de todo el periodo productivo, durante la etapa de fructificación, se detectó la presencia de "moscas de los hongos", moscas del género *Lycoriella spp*, en las bolsas correspondientes al tratamiento 3; lo que pudo haber afectado el desarrollo de los primordios (Romero et al., 2010). Según Gavidia y León (2016) tal situación podía hacerse más visible en el tratamiento que no contenía presencia de lignina, pues este componente es resistente a la degradación a enfermedades y hongos patógenos.

Al final del ciclo productivo, se podría apreciar la presencia de hongos filamentosos *Trichoderma spp*, común en *Pleurotus spp* ya en esta etapa. (Romero et al., 2010).

3.7. Evaluación de la pleurotina

Luego de la cosecha de setas de *Pleurotus ostreatus*, el sustrato remanente, llamado pleurotina, presenta diferencias en la composición fisicoquímica con respecto a su estado inicial como sustrato.

En la **Tabla 5** se comparan las variables fisicoquímicas de la viruta de bolaina blanca y la pleurotina de viruta de bolaina blanca, donde se puede notar lo siguiente: Disminución del pH, materia orgánica, carbono, fósforo, potasio, Humedad y ratio C/N; y aumento de la C.E, nitrógeno, calcio, magnesio y sodio.

Tabla 5

Composición fisicoquímica de la viruta de bolaina blanca y la pleurotina de viruta de bolaina blanca en base seca

Variable	Viruta de bolaina blanca	Pleurotina de viruta de bolaina blanca
pH	6,22	4,07
C.E dS/m	0,46	1,66
M.O %	97,64	96,28
N %	0,27	0,37
P ₂ O ₅ %	0,1	0,08
K ₂ O %	0,24	0,16
CaO %	0,82	1,48
MgO %	0,06	0,09
Humedad %	8,08	3,52
Na %	0,03	0,22
C%	56,64	55,85
C/N	209,76	150,94

En la **Tabla 6** se comparan las variables fisicoquímicas de la pulpa de café y la pleurotina de pulpa de café, donde se puede notar lo siguiente: Disminución del pH, materia orgánica, carbono, potasio, humedad y ratio C/N; y aumento de la C.E, nitrógeno, calcio, magnesio y sodio.

Tabla 6

Composición fisicoquímica de la pulpa de café y la pleurotina de la pulpa de café en base seca

Variable	Pulpa de café	Pleurotina de pulpa de café
pH	6,39	5,23
C.E dS/m	1,63	5,56
M.O %	92,98	90,35
N %	0,27	0,35
P ₂ O ₅ %	0,46	0,46
K ₂ O %	1,05	1,01
CaO %	1,65	2,21
MgO %	0,29	0,38
Humedad %	11,82	1,65
Na %	0,04	0,21
C%	53,93	52,41
C/N	199,75	149,73

La disminución de la concentración de algunas variables fisicoquímicas está relacionada directamente con las demandas nutricionales de *Pleurotus ostreatus* en las diferentes etapas de su producción. El ligero aumento de la concentración de algunas variables fisicoquímicas está relacionado a que las semillas de *Pleurotus ostreatus* sembradas a los sustratos contiene entre 1% y 2% p/p de yeso y carbonato de calcio; con respecto al aumento de %N, se debería a que aún había micelio, el cual contiene proteína y quitina – ambas contienen nitrógeno- sobre las pleurotinas cuando éstas fueron enviadas a analizar.

Tabla 7

Composición fisicoquímica de la pleurotina de viruta de bolaina blanca, pulpa de café y viruta de bolaina blanca (1:1) y de pleurotina de pulpa de café en base seca

Variable	Pleurotina de viruta de bolaina blanca	Pleurotina de pulpa de café + viruta de bolaina blanca (1:1)	Pleurotina de pulpa de café
pH	4,07	4,38	5,23
C.E dS/m	1,66	3,52	5,56
M.O %	96,28	92,11	90,35
N %	0,37	0,24	0,35
P ₂ O ₅ %	0,08	0,23	0,46
K ₂ O %	0,16	0,66	1,01
CaO %	1,48	2	2,21
MgO %	0,09	0,28	0,38
Hd %	3,52	2,5	1,65
Na %	0,22	0,22	0,21
C%	55,85	53,43	52,41
C/N	150,94	222,62	149,73

En la [Tabla 7](#) se muestran la composición fisicoquímica de las pleurotinas de viruta de bolaina blanca, pulpa de café y viruta de bolaina blanca y pulpa de café.

Según [Sánchez y Mata \(2012\)](#) la disminución de C/N en la pleurotina se relaciona con mayores

valores de eficiencia biológica, lo cual coincide con los resultados realizados a la pleurotina de cada tratamiento, donde además se muestra que inicialmente, el tratamiento 2 tuvo mucho más altos ratios C/N que el tratamiento 1 y el tratamiento 3, ya que una vez luego del proceso productivo registra un C/N de 222,62, a pesar de ser el tratamiento donde se ha dado los niveles más altos de degradación,

Teniendo en cuenta que los tratamientos estudiados en la presente investigación son orgánicos en su totalidad y, por ende, sus pleurotinas pueden tener un gran potencial como abono orgánico o mejorador de suelo ([Rivera et al., 2013](#)) y [Guarín y Ramírez \(2004\)](#).

Además de los aportes nutricionales que pueden brindar la pleurotina como abono, según [Guarín y Ramírez \(2004\)](#), tienen un plus adicional, ya que aún contiene micelio de *Pleurotus ostreatus* actúa como controlador biológico de nemátodos microscópicos, ayudando a disminuir el uso de nematocidas contribuyendo a una agricultura más verde.

4. Conclusiones

Cultivar *Pleurotus ostreatus* a partir de pulpa de café *Coffea arabica* es técnicamente posible, debido a que se obtuvo producción en todos los tratamientos estudiados en esta investigación.

Según los tres indicadores de producción de *Pleurotus ostreatus* evaluados en la presente investigación el mejor sustrato es la mezcla de viruta de bolaina blanca con pulpa de café puesto que alcanzó los mejores resultados: 96,5% de eficiencia biológica durante un periodo de producción de 130 días en promedio, con una tasa de producción de 0,74 y una biodegradación del sustrato de 31,8%,

Es posible que el no adicionar suplementos orgánicos y/o inorgánicos a los tratamientos haya afectado en los tres indicadores de producción estudiados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNALM por las facilidades para el desarrollo de la presente investigación en las instalaciones del Laboratorio de Biorremediación "Luis Basto Acosta" – B2.

Referencias bibliográficas

- [Albán, L. 2018. Cultivo de hongo ostra \(*Pleurotus ostreatus*\) en tres tipos de residuos de la madera de bolaina blanca \(*Guazuma crinita*\). Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina, Perú. 91 pp.](#)

- Ardón, C.E. 2007. La producción de los hongos comestibles. Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 207 pp.
- Arguedas, P. 2014. Definición del proceso de elaboración de una bebida fermentada a partir de pulpa del café (broza). Revista Tecnología En Marcha: 38-49.
- Bermúdez, R.C.; García, N.; Serrano, M.; Rodríguez, M.; Mustelier, I. 2014. Conversión de residuales agroindustriales en productos de valor agregado por fermentación en estado sólido. Tecnología Química 34(3): 263-274.
- Calzado, E. 2010. Producción y determinación de la eficiencia biológica del hongo *Pleurotus ostreatus*, evaluado en cuatro sustratos diferentes (tallo de palma, olote, paja de trigo y paja de sorgo). Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Mexico. 77 pp.
- Díaz, C.; Carvajal, E. 2014. Eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en fibra de palma de aceite. Revista Alimentech ciencia y tecnología alimentaria 12(1):63-70,
- Díaz, O.A. 2017. Aplicación de aditivos minerales para la reducción de pérdidas de nitrógeno por volatilización durante el compostaje de pulpa de café. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina, Perú. 95 pp.
- Fernández, F. 2004. Guía Práctica de Producción de Setas (*Pleurotus* spp.). Editorial Fungitec Asesorías. Guadalajara, México. 54 pp.
- García, N.; Bermúdez, R.C.; Téllez, I.; Chávez, M.; Perraud, I. 2017. Enzimas lacasa en inóculos de *Pleurotus* spp. Revista Tecnología Química 37(1): 33-39.
- Garzón, J.P.; Cuervo, J.L. 2008. Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia, Revista NOVA 6(10): 101-236.
- Gavidia, B.A.; León, Y.M. 2016. Evaluación preliminar de la producción de *Pleurotus pulmonarius* en vainas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), vainas de alverja (*Pisum sativa*) y tamo de retamo espinoso (*Ulex europaeus*) como sustratos orgánicos Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. 158 pp.
- Guarin, J.O.; Ramírez, A.A. 2004. Estudio de factibilidad técnico-financiero de un cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana.
- López-Rodríguez, C.; Hernández, R.; Suarez, C.; Borrero, M. 2008. Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundamarca. Revista Universitas Scientiarum 13(2): 128-137
- Magdaleno, C. 2013. Efecto de dos sustratos en la productividad y calidad nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Kumm. Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. 77pp
- Mego, M. 2010. Propuesta de manejo de desechos municipales en la localidad de Jepelacio. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú. 83 pp.
- Muñoz, E.N. 2017. Comparativo de dos sustratos y cuatro paquetes tecnológicos utilizados en la producción comercial de *Pleurotus ostreatus*. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina, Perú. 81 pp.
- Paredes, A.N.; Villegas, E.; Díaz, R.; Díaz, G. 2017. Aplicaciones de las enzimas lacasa de *Pleurotus ostreatus*. Revista Mexican Journal of Biotechnology 2(1): 135-144.
- Ramón, P.A.; Ramón, D.A. 2012. Análisis de la capacidad degradativa de residuos lignocelulósicos utilizando el hongo *Pleurotus ostreatus* var. florida. Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador. 108 pp.
- Rivera, R.L.; Martínez, C.A.; Morales, S. 2013. Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. Revista Luna Azul (37): 89-100.
- Rodas, H.A. 2009. Evaluación de la eficiencia biológica de la granza de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y el pasto araguá (*Hyparrhenia rufa*) al ser utilizados como sustratos, en una planta productora artesanal de *Pleurotus ostreatus* ECS 110, en el Municipio de San Pedro Pinula, Jalapa. Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 71 pp.
- Rodríguez, R. 1996. Caracterización de cepas del hongo comestible *Pleurotus* spp en medios de cultivo y su evaluación en sustratos lignocelulósicos forrajeros para la producción de carpóforos. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. 90 pp.
- Rodríguez, N.; Jaramillo, C. 2005. Cultivo de hongos medicinales en residuos agrícolas de la zona cafetera. Cenicafé. 73 pp.
- Rodríguez, N.; Zambrano, D.A. 2010. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Revista Avances Técnicos Cenicafé (393): 1-8.
- Romero, O.; Huerta, M.; Damián, M.A.; Macías, A.; Tapia, A.M.; Parra-guirre, J.F.C.; Juárez, J. 2010. Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L. CV, Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos agrícolas, Revista Agronomía Costarricense 34: 53-63.
- Ruilova, M.B.; Hernández, A. 2014. Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. Revista ICIDCA 48(1): 54-59.
- Sánchez, J. 1994. Producción de hongo comestible. Editorial Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste. México. 107 pp.
- Sánchez, J.; Mata, G. 2012. Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica, Ceparios de hongos en México. Editorial de El Colegio de la Frontera Sur. Mexico. 393 pp.
- Sánchez, J.; Royle, D. 2001. La Biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. 1ra Edición. Noriega Editores. Chiapas, México. 290 pp.
- Trejo, T.; Zepeda, A.; Franco, J.; Soto, S.; Ojeda, D.; Ayala, M. 2017. Uso de extracto enzimático de *Pleurotus ostreatus* sobre los parámetros productivos de cabras. Revista Abanico Veterinario 7(2): 14-21.
- Vaca, M.; Izurieta, B.; Espin, N. 2014. Obtención de extractos enzimáticos con actividad celulolítica y ligninolítica a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* 404 y 2171 en rastrojo de maíz. Revista Politécnica Nacional 33(1).
- Vázquez, L. 1995. Cultivo de tres cepas comerciales del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr) sobre los subproductos del Beneficiado de café (pulpa, capulín y pergamino). Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vega, C. 2016. Comparación de la producción de metabolitos secundarios bioactivos con dos fuentes de carbono en la fermentación líquida de una especie de *Pleurotus* y su uso potencial en un alimento de tipo funcional. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 139 pp.
- Zárate, J.R. 2015. Producción y desarrollo de cuatro aislamientos de *Pleurotus ostreatus*, cultivados en restos de cosecha. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina. 117 pp.