



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Comparación de la producción, compuestos nutrimentales y metabolitos de interés en *Pleurotus sp.* con tres residuos agroindustriales.

Opción de titulación

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de M. en C.
Ingeniería en Biosistemas

Presenta:

Nohemí Alitzel Aguado Rivera

Dirigido por:

Dra. Ana Angelica Feregrino Pérez

Codirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciatario no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatario.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Biosistemas

Comparación de la producción, compuestos nutrimentales y
metabolitos de interés en *Pleurotus sp.* con tres residuos
agroindustriales

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de M. en C. en Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

Nohemí Alitzel Aguado Rivera

Dirigido por:

Ana Angélica Feregrino Pérez

Dra. Ana Angélica Feregrino

Pérez

Presidente

Firma

Dr. Juan Fernando García Trejo

Secretario

Firma

Dr. Humberto Aguirre Becerra

Vocal

Firma

M. en C. Byanka Cruz Moreno

Suplente

Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco

Suplente

Firma

Dra. María de la Luz Pérez Rea
Directora de la Facultad

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Abril 2025

I. Resumen

Esta investigación evaluó el cultivo del hongo comestible *Pleurotus djamor* en tres sustratos alternativos (fibra de coco, cascarilla de café y residuos de poda de jitomate) comparados con el sustrato tradicional de cebada. El objetivo fue determinar cuál de estos materiales mejora la producción, calidad nutricional y contenido de metabolitos bioactivos. Los resultados demostraron que la cascarilla de café en proporción 2:10 obtuvo el mejor rendimiento (1.18 ± 0.51 g) y la mayor eficiencia biológica (118.93%), superando significativamente a la cebada (66.33%). Además, este sustrato favoreció un alto contenido de flavonoides (2.53 mg RU/g) y actividad antioxidante (21.08 mg Trolox/g en DPPH).

En cuanto a propiedades nutricionales, la poda de jitomate 6:10 destacó por su alto porcentaje de proteínas (9.75%), mientras que la fibra de coco 8:10 registró mayor contenido de lípidos (2.54%). Asimismo, los análisis fisicoquímicos revelaron que estos sustratos retienen mejor la humedad y presentan mayor concentración de minerales (cenizas) en comparación con la cebada. El estudio de metabolitos secundarios mediante GC-MS identificó compuestos bioactivos como ácido linoleico y octadecanoico, con potenciales beneficios antifúngicos, antiinflamatorios e hipolipidémicos.

Finalmente, el análisis colorimétrico mostró variaciones en la tonalidad de los hongos según el sustrato, siendo la fibra de coco la que produjo ejemplares más claros ($L^* = 78.38$) y la cascarilla de café los más rojizos ($a^* = 13.00$). Estos hallazgos confirman que los residuos agroindustriales no solo son una alternativa sostenible para el cultivo de *P. djamor*, sino que también mejoran su valor nutricional y funcional. El estudio sugiere implementar estos sustratos a escala piloto, especialmente la cascarilla de café, para optimizar la producción de hongos con aplicaciones en alimentación y biotecnología.

Palabras clave: *Pleurotus djamor*, residuos, agroindustria, revalorización, alimentos funcionales.

II. Summary

This study evaluated the cultivation of the edible mushroom *Pleurotus djamor* using three alternative substrates (coconut fiber, coffee husk, and tomato pruning waste) compared to the traditional barley substrate. The goal was to determine which substrate improves production, nutritional quality, and bioactive metabolite content. The results showed that coffee husk at a 2:10 ratio achieved the highest yield (1.18 ± 0.51 g) and biological efficiency (118.93%), significantly outperforming barley (66.33%). Additionally, this substrate promoted high flavonoid content (2.53 mg RU/g) and antioxidant activity (21.08 mg Trolox/g in DPPH assays).

Regarding nutritional properties, tomato pruning waste at a 6:10 ratio stood out for its high protein content (9.75%), while coconut fiber at 8:10 had the highest lipid content (2.54%). Physicochemical analyses also revealed that these substrates retained moisture more effectively and had higher mineral (ash) concentrations compared to barley. GC-MS analysis of secondary metabolites identified bioactive compounds such as linoleic acid and octadecanoic acid, which have potential antifungal, anti-inflammatory, and hypolipidemic benefits.

Finally, colorimetric analysis showed variations in mushroom coloration depending on the substrate, with coconut fiber producing lighter specimens ($L^* = 78.38$) and coffee husk yielding redder tones ($a^* = 13.00$). These findings confirm that agro-industrial residues are not only a sustainable alternative for *P. djamor* cultivation but also enhance its nutritional and functional value. The study recommends pilot-scale implementation of these substrates, particularly coffee husk, to optimize mushroom production for food and biotechnological applications.

Keywords: *Pleurotus djamor*, alternative substrates, biological efficiency, bioactive metabolites, sustainability.

III. Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo brindado a lo largo de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, mi alma mater, por proporcionarme un espacio de aprendizaje, crecimiento y formación integral. Agradezco profundamente a esta institución por su compromiso con la educación y la investigación.

A mi directora de tesis, la Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez, al Dr. Fernando por su invaluable guía, paciencia y dedicación, su experiencia y orientación han sido clave en cada etapa de esta investigación. Gracias por compartir sus conocimientos, por motivarme a superar desafíos.

También a mis amigas Alex y Pili por su amistad y complicidad, también a mis compañeros de laboratorio Raúl, Isa por haberme brindado su conocimiento y ayuda en espacio de trabajo y los recursos necesarios para desarrollar esta investigación.

IV. Dedicatoria

A mi familia, mi mama y mi papa que siempre han sido mi mayor inspiración por su amor incondicional, por inculcarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado en cada desafío A mi hermano por recordarme siempre la importancia del equilibrio entre el trabajo y la vida.

A Víctor, por su amor, paciencia y apoyo inquebrantable. Gracias por estar a mi lado en los momentos de incertidumbre, por animarme a seguir adelante y por celebrar cada logro conmigo. Tu compañía y aliento han sido esenciales para completar esta etapa con éxito.

V. Índice

I.	Resumen	3
II.	Summary	4
III.	Agradecimientos	5
IV.	Dedicatoria	6
V.	Índice	7
VI.	Índice de imágenes	10
VII.	Índice de graficas	11
1.	Antecedentes científicos	12
1.1.	Revaloración de residuos agroindustriales.....	12
1.2.	Producción de <i>Pleurotus sp.</i> en diferentes residuos agroindustriales	13
1.3.	Residuo de café	14
1.4.	Residuo de jitomate.....	14
1.5.	Residuo de coco	15
1.6.	<i>Pleurotus sp.</i> alimento funcional	15
1.7.	Metabolitos secundarios en <i>Pleurotus sp.</i>	15
2.	Descripción del problema	17
3.	Justificación	18
4.	Hipótesis	19
5.	Objetivos	19
5.1.	Objetivo general	19
5.2.	Objetivos específicos	19
6.	Marco teórico	20
7.	Hongos.....	20
8.	Tipo de hongos	21
9.	<i>Plaurotus djamor</i>	21
10.	Taxonomía	¡Error! Marcador no definido.
11.	Requerimiento físico <i>Pleurotus djamor</i>	22
11.1.	Temperatura	22
11.2.	Humedad	22
11.3.	Humedad relativa.....	¡Error! Marcador no definido.

11.4. Luz.....	23
12. Requerimientos químicos <i>Pleurotus djamor</i>	23
12.1. ph.....	23
12.2. Enzimas.....	24
12.3. Metabolitos secundarios	24
13. Residuos agroindustriales	24
14. Requerimientos físicos del sustrato	25
14.1. Humedad	25
15. Requerimientos químicos del sustrato	26
15.1. Celulosa.....	26
15.2. Lignina	¡Error! Marcador no definido.
15.3. Hemicelulosa	¡Error! Marcador no definido.
VIII. Metodología	29
16. Descripción del sitio	30
17. Residuos agroindustriales	31
18. Preparación del sustrato	31
19. Proporciones	32
20. Inoculación	34
21. Cosecha	35
21.1. Eficiencia biológica	36
21.2. Rendimiento.....	36
21.3. Tasa de producción	36
22. Análisis bromatológicos.....	36
22.1. Humedad	36
22.2. Cenizas.....	37
22.3. Calorías	37
22.4. Proteínas	37
22.5. % Grasa total.....	37
22.6. Fibra soluble	¡Error! Marcador no definido.
22.7. Fibra no soluble	¡Error! Marcador no definido.
23. Identificación de metabolitos	38
23.1. Taninos	¡Error! Marcador no definido.

23.2.	Fenoles.....	¡Error! Marcador no definido.
23.3.	Flavonoides	¡Error! Marcador no definido.
23.4.	Inhibición de DPPH.....	¡Error! Marcador no definido.
23.5.	Inhibición de ABTS	¡Error! Marcador no definido.
24.	Medición de color	38
25.	Análisis estadístico.....	38
IX.	Resultados y discusiones	39
26.	Análisis bromatológicos.....	¡Error! Marcador no definido.
26.1.	Humedad	¡Error! Marcador no definido.
26.2.	Cenizas.....	¡Error! Marcador no definido.
26.3.	Calorías	¡Error! Marcador no definido.
26.4.	Proteínas	¡Error! Marcador no definido.
26.5.	Carbohidratos	¡Error! Marcador no definido.
26.6.	Grasas totales.....	¡Error! Marcador no definido.
26.7.	Fibra	¡Error! Marcador no definido.
27.	Identificación de metabolitos	¡Error! Marcador no definido.
28.	Medición de color	¡Error! Marcador no definido.
X.	Conclusión	59
XI.	Bibliografía	60

VI. Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de requerimientos fisicoquímicas en la producción de Pleurotus sp. (Valera, 2019).	23
Tabla 2. Caracterización estructural de residuos agroindustriales (Flórez Montes y Rojas González, 2019).	28
Tabla 3. Se muestran los tratamientos para la determinación del mejor sustrato para Pleurotus sp	33
Tabla 4. Valores de los parámetros de producción en P. djamor.	42
Tabla 5. Muestra los diferentes resultados obtenidos de los análisis bromatológicos de P. djamor.	45
Tabla 6. Muestra los diferentes resultados obtenidos de los análisis de porcentaje de fibras dietéticas en Pleurotus djamor con los diferentes residuos agroindustriales.	47
Tabla 7. Muestra los diferentes resultados obtenidos de los análisis de porcentaje de fibras dietéticas en Pleurotus djamor con los diferentes residuos agroindustriales de los análisis metabolitos secundarios.	49
Tabla 8. Medición de color en valores expresadas en unidades L* a* b* de P. djamor	52
Tabla 9. Caracterización de extracto P. djamor por GC-MS	53
. . .	53
Tabla 10. Cuantificación de extracto de ácidos grasos P. djamor por GC-MS	56

VII. Índice de figuras

Figura 1. Ciclo sexual de Pleurotus sp	20
Figura 2. Morfología y estructuras del cuerpo fructífero de <i>P. djamor</i>	22
Figura 3. Estructura de molecular de la celulosa	26
Figura 4. Representación gráfica de la estructura de molecular de la lignina	27
Figura 5. Representación gráfica de la estructura de molecular de la lignina	27
Figura 6. Diagrama de flujo de actividades.	29
Figura 6. Zona productiva de hongos comestibles en UAQ Amazcala.	30
Figura 7. Cuarto de reproducción de hongos comestibles.	31
Figura 8. Residuos agroindustriales poda de jitomate (a), fibra de coco (b) y cascarilla de café (c) sometidos a proceso de secado a disposición directa del sol.	32
Figura 9. Bolsas con diferentes porcentajes de cada sustrato.	34
Figura 10. Acomodo de bolsas a un rango de temperatura de 24 a 26°C y de humedad relativa entre 70 a 80 %.	35
Figura 11. Cuarto de producción	35
Figura 12. Temperatura y humedad dentro del cuarto de crecimiento.	39
Figura 13. Bolsa residuo de cascarilla de café 4:10. 1 semana de crecimiento.	40
Figura 14. Bolsa de residuo de fibra de coco al 100%. 1 semana de crecimiento.	40
Figura 15. Bolsa de residuo de fibra de coco al 100%. 13 días de crecimiento.	41
Figura 16. Bolsa residuo de cascarilla de café 4:10	41
Figura 17. Producción en kg de <i>P. djamor</i> de los diferentes tratamientos al 100%, las barras indican la cantidad en Kg .	41

A. Capítulo I

1. Antecedentes científicos

1.1. Revaloración de residuos agroindustriales

Los elementos clave para desarrollar un progreso que sea sostenible es la gestión de recursos, la demanda energética, cambio climático y escasez de recursos naturales. Estas áreas son esenciales para gestionar y tratar de resolver los desafíos ambientales (Mejías, et al., 2016).

La utilización de los residuos agroindustriales en los nuevos procesos puede llegar a modificar la forma de modelo lineal de consumo y producción, donde está caracterizada por la extracción de materia prima, producción, consumo y desecho. En comparación con el modelo de economía circula se enfoca en aprovechar el valor de los residuos para mermar la generación de los residuos, busca prolongar los ciclos de vida y modificar la linealidad con un modelo circular, donde se prioriza el reciclaje de los residuos. Logrando que estos residuos disminuyan podríamos generar beneficios ambientales, económicos y sociales, reduciendo la huella ecológica (Chávez, et al., 2021).

Los residuos vegetales son los elementos frecuentes que están compuesto por la lignocelulosa, esta misma la conforma tres polímeros celulosa, hemicelulosa y lignina (Martínez y Prieto, 2021). Los residuos agroindustriales causan un riesgo al ambiente por la propagación de plagas y enfermedades, estas tienen una oportunidad para transformación usándose en materia prima para obtención de otros productos (Domínguez y Jesús, 2021).

Una de las estrategias clave para la utilización de los residuos es la revalorización, que es el uso de tecnologías sostenibles para aprovechar la diversidad de la composición de estos residuos agroindustriales. Se diferencian tres categorías tecnológicas para la recuperación de estos recursos: valorización biológica y química, para la obtención de los productos comercializables como el biogás; producción de biocombustibles como el biogás; y la valorización térmica (Corredor, et al., 2018).

Por lo tanto, la utilización de los residuos agroindustriales es una estrategia para producir alimentos como los hongos comestibles de forma indirecta, aprovechando las propiedades que aún contienen estos residuos, donde estos hongos comestibles sintetizan enzimas que puedan degradar las moléculas como un mecanismo que generan (Aguilar, 2020).

Estas estrategias no solo promueven la conversión de residuos en recursos valiosos, sino que también fomentan la sostenibilidad ambiental y la transición hacia una economía circular mediante el aprovechamiento eficiente de los subproductos agroindustriales.

1.2. Producción de *Pleurotus* sp. en diferentes residuos agroindustriales

Los hongos del género *Pleurotus* se desarrolla en ambientes con abundante material leñoso o fibroso, que puede cultivarse utilizando restos agrícolas, agroindustriales y forestales como sustrato. En la actualidad, estos residuos, que tienen una estructura similar a la requerida para el crecimiento de las setas, suelen ser desperdiados que con frecuencia son quemados o descartados sin algún tratamiento adecuado. Por lo tanto, la utilización de estos residuos de manera adecuada favorecería no solo a la producción de nuevos alimentos, sino que también a la contribución de disminución de generación de residuos y un impacto negativo al ambiente (Rivas, et al., 2021).

Pleurotus sp. son hongos comestibles como una fuente de proteínas de alta calidad y aminoácidos esenciales que supera la carne de res, pollo y leche. Además, son ricos en vitaminas B1 y B2, en concentraciones que se comparan con los huevos y distintos los vegetales (Atehortúa y Medina, 2016). Piña y Guzmán (2016) clasificó en seis categorías a los subproductos biológicos para la utilización en la producción de los hongos comestibles como los del género *Pleurotus* y las categorías son: pajas, rastrojos, pulpa, bagazos, residuos forestales, entre otros.

Según Ozcariz (2016) evaluó diversos residuos agroindustriales que estos materiales representaron un problema ambiental, usándolos como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus* incluyendo diferentes rastrojos como de arroz, trigo, tomate, maíz, bagazos caña de azúcar y diferentes pulpas como de café y yuca. Así mismo, Ortiz (2020) utilizó la biomasa residual de cereza de café para la producción de *P. ostreatus* y se pudo observar reducción del volumen de los residuos al 80% y la aparición de los primordios a los 15 días. Por otro lado, la composición fisicoquímica del residuo es óptimo para poder usarlo para sustrato de cultivo de *P. ostreatus*.

En la utilización de residuos agroindustriales se utilizaron la pulpa de café, paja de arroz, mazorca de maíz en el cultivo de *Pleurotus djamor* y de resulta que aumenta no solo en la eficiencia biológica, sino que también la proteína, fibra, polifenoles y antioxidantes y que cuando se produce en diferentes combinaciones del sustrato mejoran los parámetros nutricionales de *P. djamor* (Vega, et al., 2022).

Se investigaron dos especies de hongos comestibles, *Pleurotus citrinopileatus* y *P. djamor*, cultivados en un sustrato de virutas de morera que fue reemplazado por hojas de mirto, laurel y romero. Se identificaron un total de 13 aldehídos, 8 cetonas, 7 alcoholes, 5 compuestos aromáticos y 4 terpenos en los perfiles volátiles analizados. Se observó que las hojas de romero redujeron las concentraciones de algunos productos de oxidación en *P. citrinopileatus*, aunque este efecto no fue evidente en *P. djamor* (Süfer, et al., 2022).

1.3. Residuo de café

La generación de residuos de café a nivel mundial en el 2018 fue alrededor de 10,256,220 toneladas de café verde, de los cuales el 3% provienen de México, por lo que en México se generaron 107,690.31 toneladas de residuo de café de la industria (Antonio, et al., 2021).

Paredes (2024) uso los residuos de la cascara de café para la fabricación de materiales de construcción, como una alternativa ecológica por sus propiedades higrotérmicas, y por ello los hacen aptos para fabricar materiales como paneles aislantes acústicos y térmicos. A sí mismo, Torrado (2021) investigó el uso de la cascarilla de café por el contenido de silicio, que en el uso de la construcción aporta resistencia al concreto de forma parecida al cemento, aumentando la adherencia de color, resistencia y sostenibilidad. Otro uso de residuos del cultivo de café para reducir los azúcares y generar bioetanol de segunda generación a través de una hidrolisis. Generando pruebas a diferentes temperatura, tiempos y presiones de retención (Alejandra, 2019).

Por otra parte, en Perú utilizaron la borra de café en la producción de *P. ostreatus*, gracias a su composición del residuo es posible revalorizarla y los resultados por la producción indican que el residuo tiene potencial para el cultivo de hongos comestibles, siendo un alimento saludable y proteico (Nieto, et al., 2021).

1.4. Residuo de jitomate

La hortaliza con una alta demanda en México es el jitomate, con alrededor de 4.7 millones de hectáreas, de las cuales 3.08 millones de hectáreas le corresponden a México aproximadamente, no obstante, la cantidad de residuos que se generan no se tiene registrado en el cultivo de jitomate (Castro, et al., 2017).

Comúnmente hay una gestión ineficaz desaprovechando su potencial de los residuos agrícolas llevándolos a vertederos o para incinerarlos, por lo tanto, representa un daño global. México es uno de los principales productores a nivel mundial de jitomate y los residuos se han utilizado para las oportunidades para producir biocombustibles sólidos, sustituyendo el gas LP en invernaderos. Como resultado obtuvieron que puede cubrir más del 77% de las necesidades energéticas, pudiendo ahorrar dinero significativamente y reducir el uso de combustibles fósiles (Guido, et al., 2024). Otro uso para los residuos de forraje que se generan en la producción de jitomate como alternativa en un proceso experimental para obtener un material biodegradable que es envases para la agricultura (Castro, 2017).

1.5. Residuo de coco

México es el octavo productor de coco aportando el 1.7% de la producción mundial, que serían alrededor de 230.56 toneladas; de los cuales no se conoce la cantidad de residuos generados de coco (SAGARPA, 2017).

Alemán (2016) realizó una investigación para transformar los residuos de coco y almendra generados durante la extracción de aceites para transformarlos en compost analizando primero el contenido de carbono y nitrógeno de los residuos, para después complementarlos como aserrín y restos vegetales estos resultados confirman la viabilidad de transformar estos subproductos en compost de alta calidad, impulsando su reutilización como estrategia sostenible.

Por otra parte, Chichanda (2021), propuso la biofiltración de aguas residuales con fibra de coco, estudiando cómo cambia el sobrante que es filtrado, teniendo como resultado la eficiente reducción de la contaminación.

1.6. *Pleurotus sp.* alimento funcional

La FUFOSE en Europa, da una definición a los alimentos funcionales como los que no solo brindan beneficios a la salud, sino que también aportan nutrientes esenciales. Para su comercialización está regulada por la Unión Europea mediante el Reglamento (CE) nº 1924/2006, que respalda las declaraciones nutricionales y de salud nutricional. Para México es un papel clave la alimentación para prevenir enfermedades que pueden ser causadas por enfermedades como diabetes y la obesidad. Por lo tanto, es importante la producción de alimentos de mejor calidad y saludables para mejorar la calidad de vida en la población (Meléndez et al., 2020).

Para esto *P. ostreatus* fue analizado por su importancia nutricional, la cantidad de antioxidantes, compuestos fenólicos, flavonoides, vitaminas y si cambia después de ser sometido a tratamientos térmicos, donde se destaca los resultados que el contenido puede verse afectados por estos tratamientos; además se ha investigado la harina de *P. ostreatus* en comparación con otro tipo de harinas como la de trigo empleadas para la producción de pan, los resultados mostrados, es que mejoró en el volumen como la calidad de la miga (García, et al., 2022; Sigala, 2022).

1.7. Metabolitos secundarios en *Pleurotus sp.*

Ibarra (2022) cuantificó los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante de los extractos de metanol que se obtuvieron con el bagazo de manzana para la producción de *Pleurotus ostreatus* por una fermentación sólida, reportando que este residuo agroindustrial se podría usar para su revalorización. Un extracto acuoso obtenido de los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus* para evaluar su contenido fenólico y su capacidad antioxidante. Los resultados indicaron la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides, junto con una destacada actividad antioxidante en ensayos in vitro. Estos resultados sugieren que el extracto acuoso de *P.*

ostreatus tiene un potencial antioxidante, lo que abre nuevas oportunidades para investigaciones futuras en modelos preclínicos y clínicos (Martínez, et al., 2023).

Ahora bien, el bagazo, es un desecho de la industria del tequila en México que podría implementarse para el cultivo de hongos, se presentó un experimento comparativo que estudia la producción de metabolitos en hongos *P. djamor* sobre bagazo de agave y cebada. Propusieron cinco tratamientos de diferentes mezclas de bagazo de agave y cebada. El sustrato de cultivo influye en la concentración de moléculas bioactivas en los cuerpos fructíferos de los hongos como ejemplo pirrol que menciona que es un metabolito que podría ser anticancerígeno, ac. oleico que es un hipotensor que podría llegar a ser un reductor de la presión arterial, ac. silícico que ayuda a la estimulación de la producción de colágeno y la degradación de residuos de bagazo de agave de *P. djamor* genera una aplicación potencial para el manejo de residuos agroindustriales a bajo costo (Moreno, et al., 2020).

El estudio se enfocó en analizar diversas propiedades del polvo seco de *P. djamor* (hongo ostra rosado), incluyendo sus características fisicoquímicas, índices nutricionales, propiedades antioxidantes y efectos sobre los niveles de glucosa. En el análisis cualitativo de los micoconstituyentes de *P. djamor*, se identificaron taninos, flavonoides, terpenoides, glucósidos cardíacos y saponinas. Los resultados de las pruebas de hipoglucemia mostraron un aumento en el consumo de glucosa por parte de los hepatocitos de aves de corral expuestas al extracto del hongo, lo que sugiere su potencial para reducir el riesgo de enfermedades (Nayak, et al., 2021).

El análisis fitoquímico de *P. djamor* reveló la presencia de antraquinonas, flavonoides, saponinas, taninos y terpenoides, mientras que los glucósidos cardíacos y esteroides estaban ausentes. La actividad antioxidante se evaluó mediante el método DPPH, mostrando el extracto metanólico del hongo capacidad para eliminar radicales libres (Sasidhara y Thirunalasundari, 2014).

Se evaluaron las actividades antioxidantes in vitro, así como los contenidos fenólicos totales y flavonoides de los extractos de *P. djamor*. Tanto los extractos de metanol como los acuosos mostraron eficacia en la eliminación de radicales DPPH y DMPD. Estas propiedades antioxidantes sugieren que el consumo de *P. djamor* puede ser beneficioso para la salud (Sudha, et al., 2016).

El estudio se centra en la preparación de polisacáridos de micelio acetilado (AMPS) de *P. djamor* y su efecto antioxidante y antienvejecimiento en ratones envejecidos inducidos por d-galactosa. Los resultados in vitro y en animales indican que el AMPS puede contrarrestar los efectos del envejecimiento al reducir los radicales libres, mejorar las actividades enzimáticas y disminuir los niveles de lípidos. Además, se observa una mejora en los índices bioquímicos séricos y la actividad inmunológica. Estos hallazgos sugieren que el AMPS podría ser un suplemento dietético y un alimento funcional para prevenir el envejecimiento y enfermedades relacionadas con la edad (Li, et al., 2019).

El estudio se enfocó en investigar las propiedades fisicoquímicas, actividades antioxidantes y efectos hepatoprotectores de los polisacáridos de zinc del micelio y sus fracciones principales extraídos de *P. djamor*. Se observaron actividades antioxidantes notables, especialmente ensayos *in vitro*. En ensayos *in vivo*, la administración de redujo significativamente los marcadores de daño hepático mejoró los perfiles bioquímicos del suero y la actividad enzimática hepática. Estos resultados sugieren que podrían ser prometedoras como alimentos funcionales y agentes farmacológicos naturales para prevenir el daño hepático agudo inducido (Zhang, et al., 2016).

La producción de hongos comestibles va en aumento, por lo que, esta investigación busca ampliar las opciones de sustratos, que incrementen el volumen de biomasa y calidad nutrimental del alimento, utilizando residuos no aprovechados como la cascarilla del café, fibra de coco y restos de la poda del jitomate.

2. Descripción del problema

En la actualidad, la industria agroalimentaria genera una gran cantidad de residuos orgánicos que, en muchos casos, no se aprovechan de manera eficiente, contribuyendo a la contaminación ambiental y a la pérdida de posibles fuentes de nutrientes. Entre estos residuos agroindustriales se encuentran la cascarilla de café, la fibra de coco y los residuos de poda de jitomate. Sin embargo, la información sobre el contenido nutricional de estos materiales y su viabilidad como sustratos para la producción de hongos comestibles como *P. djamor* es escasa. Aunque se sabe que los hongos pueden ser una fuente significativa de proteínas, carbohidratos, lípidos y metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes, no se ha evaluado si los sustratos alternativos como los mencionados pueden potenciar el contenido nutricional de los hongos, en comparación con los sustratos tradicionales como la cebada. La conversión físico-química y enzimática se puede utilizar como estrategias para la producción de bio-productos nutritivos a base de residuos lignocelulósicos (Lenczak et al., 2021).

El problema central de esta investigación radica en la falta de conocimiento sobre el contenido nutricional de los hongos producidos con residuos agroindustriales como la cascarilla de café, fibra de coco y poda de jitomate, y su potencial para mejorar la calidad nutricional de los hongos cultivados sobre ellos. Además, es necesario evaluar si estos sustratos alternativos pueden influir en la producción de metabolitos secundarios y antioxidantes beneficiosos para la salud humana. Estos residuos agroindustriales pueden ser aprovechados en forma indirecta para la alimentación humana y animal, debido a sus propiedades que les pueden conferir capacidades como sustratos a los hongos comestibles ya que secretan enzimas que pueden degradar molécula como mecanismo oxidativo que genera los hongos (Aguilar, 2020).

El presente trabajo busca aprovechar las propiedades físicas y químicas de los residuos agroindustriales como el pH, humedad y luz, así como las químicas relacionadas con el contenido de nutrientes al usarlos como sustrato en la producción de hongos comestibles.

3. Justificación

La agricultura produce una gran cantidad de residuos, convirtiéndose en uno de los mayores generadores a nivel mundial. Es esencial el manejo adecuado de estos residuos, mediante Buenas Prácticas Agrícolas, el reciclaje y la reutilización, para proteger el medio ambiente. Sin embargo, su reutilización para la producción de compost y alimento no es suficiente, y muchos de estos residuos terminan en vertederos o quemados como biomasa (Castro et al., 2017).

Las actividades agroindustriales generan residuos orgánicos, lo que implica un impacto negativo al medio ambiente, una alternativa para el aprovechamiento de estos es al utilizarse como sustratos para la producción de hongos *Pleurotus sp*, para obtener un aprovechamiento de más de 3,045 billones de toneladas anuales a nivel mundial y en México se generaron 75.73 millones de toneladas de materia seca de residuos agroindustriales (Gutiérrez, et al., 2020), y así aminorando así el impacto ambiental final de dichos residuos. Con una eficiencia biológica de 15 % al 235 % en diferentes estudios sobre pajas, rastrojos, pulpas, bagazos, residuos forestales y otros. En México el cultivo de setas es una actividad económica y ecológica importante por el reciclaje de residuos agrícolas, industriales y forestales de la región. El cultivo de setas es un sistema biotecnológico eficiente logrando altos rendimientos por su corto tiempo de crecimiento con productos de buena calidad con pocos controles ambientales y contenido nutricional (Piña-Guzmán et al., 2016).

Los hongos comestibles tienen propiedades nutraceúticas que los convierten en una opción para enriquecer productos alimenticios con fines funcionales al incorporarlos en diferentes matrices. El género *Pleurotus*, ampliamente cultivado en diversos países debido a su adaptabilidad. Estos hongos son una valiosa fuente de carbohidratos, proteínas de calidad, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos, lo que los convierte en auténticos alimentos funcionales. Sin embargo, en nuestro país su uso es limitado y no se les aprovecha plenamente (O. C. Vega, 2016).

Por lo tanto, se requiere determinar si la cascarilla de café, fibra de coco y restos de poda del jitomate son adecuados para aprovechar los de residuos agroindustriales y promover su uso y aumentar la conciencia sobre sus beneficios para aprovechar plenamente su potencial en nuestra dieta y en la industria alimentaria.

4. Hipótesis

Se espera que, al utilizar sustratos como la cascarilla de café, fibra de coco y residuos de poda de jitomate en la producción de *P. djamor*, se obtengan hongos con un mayor contenido de nutrientes como proteínas, carbohidratos y lípidos en comparación con el sustrato de cebada. Además, se espera que estos hongos cultivados en diferentes sustratos presenten un contenido más alto de metabolitos secundarios y antioxidantes, los cuales son beneficiosos para la salud humana.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Evaluar la calidad nutrimental y producción de metabolitos secundarios en *P. djamor* en mezclas de poda de jitomate, cascarilla de café y fibra de coco.

5.2. Objetivos específicos

1. Determinar el rendimiento y eficiencia biológica en la producción de biomasa sobre diferentes sustratos de cascarilla del café, fibra de coco y los restos de la poda del jitomate en *P. djamor*
2. Cuantificar la calidad nutrimental del hongo *P. djamor* sobre diferentes sustratos de cascarilla de café, fibra de coco y los restos de la poda de jitomate.
3. Identificar y cuantificar los metabolitos de bajo peso molecular usando cromatografía de gases sobre diferentes sustratos de cascarilla de café, fibra de coco y los restos de la poda de jitomate.

6. Marco teórico

7. Hongos

Los hongos componen un complejo y numeroso grupo de organismos ampliamente distribuidos en el suelo, las plantas, el agua y el aire. Están clasificados dentro del reino fungi y se conocen alrededor de 600,000 especies, de las cuales solo unas 400 son patógenas para mamíferos. No contienen clorofila, por lo tanto, son herótrofos, por lo tanto, obtienen nutrientes por absorción de materia orgánica que la usan como fuente de energía y de carbono, pueden descomponer organismos muertos o pueden obtener los nutrientes de organismos vivos. Están constituido por múltiples filamentos o hifas conformados por una sucesión de células estos pueden crecer en un amplio rango de temperatura, su desarrollo se da entre los 25 °C y 30 °C, se reproducen de manera sexual y asexual, mediante esporas como se muestre en la figura 1 (Amor, 2021).

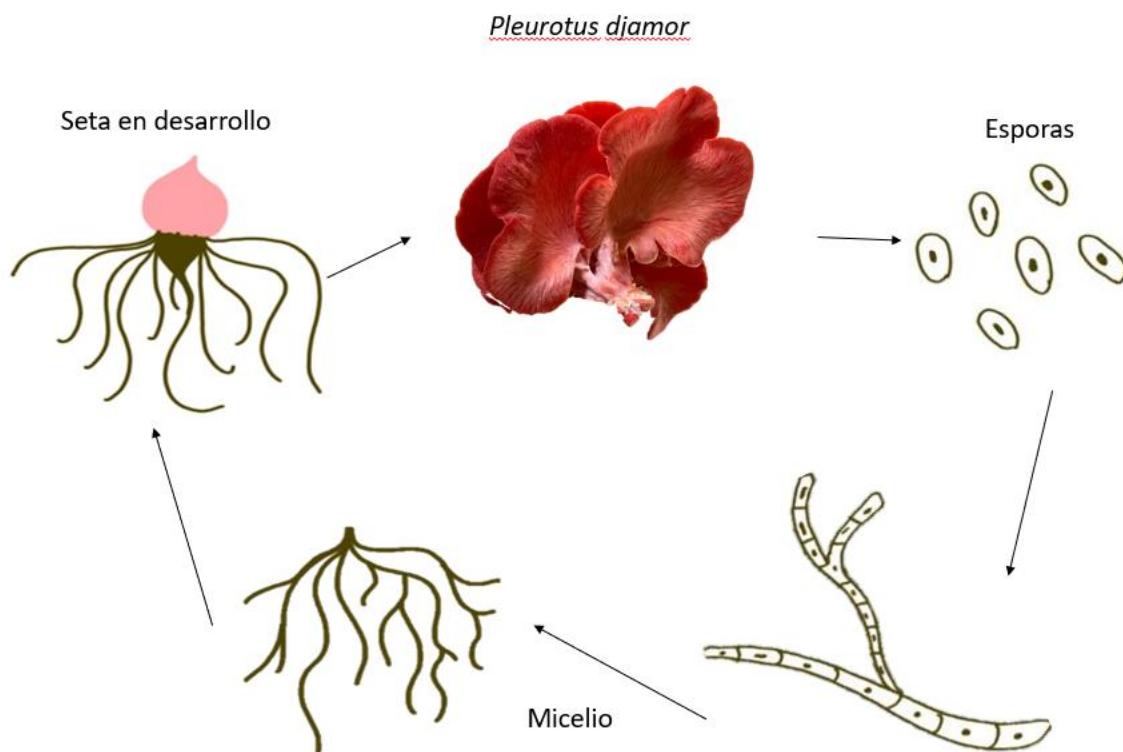


Figura 1. Ciclo sexual de *Pleurotus* sp

8. Tipo de hongos

Dentro de los hongos comestibles están los del género *Pleurotus* llamados también hongos ostra o setas. Se cuenta con un registro de 70 especies de *Pleurotus*, con diferentes colores que van desde blanco a rosadas. Su carne es compacta en el sombrero y fibrosa y blanca en el pie con sabor y olor agradable al cocinarse (Vela y Ramírez, 2015).

El género *Pleurotus* tienen gran adaptación a diversos sustratos lignocelulósicos, tienen una capacidad para degradar estos sustratos, gracias a la producción de enzimas, principalmente hidrolasas y oxidases, que pueden descomponer la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Estas enzimas permiten al hongo descomponer polímeros complejos en compuestos más simples y fácilmente absorbibles para la producción de cuerpos fructíferos (Sánchez y Royse, 2008).

Los hongos *Pleurotus* se los considera económicos por su contenido nutricional como el contenido de aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, poseen bajos niveles de grasas, ácidos nucleicos, azúcares y carbohidratos. Están constituidos por aminoácidos esenciales como la valina, isoleucina y fenilalanina, presentan valores aceptables de aminoácidos no esenciales como son, prolina, glutamato y aspartato. Por su contenido nutrimental, *P. djamor*, y en general los hongos comestibles, son un alimento altamente recomendado para diversos tipos de dietas (Cortez y Moreira, 2020).

9. *P. djamor*

Como se muestra en la figura 2, *P. djamor* un basidiocarpo carnoso y sésil, con una morfología que se asemeja a un estante y un tamaño variable de 3 a 8 cm de ancho. Su forma puede ser espesada y su superficie puede ser lisa, con colores que van desde el rosa hasta el blanco amarillento, grisáceo o gris claro según la variedad. El estípite, corto y sin velo, se adelgaza gradualmente hacia la base y puede estar ausente en algunos casos, siendo generalmente excéntrico o lateral y de consistencia sólida a subcoriácea, del mismo color que el píleo y con una superficie fibrilosa a finamente tomentosa. Las láminas pueden ser blanca, grisácea o gris-amarillenta, a veces adquiriendo tonos amarillos (Caiza, et al., 2020).

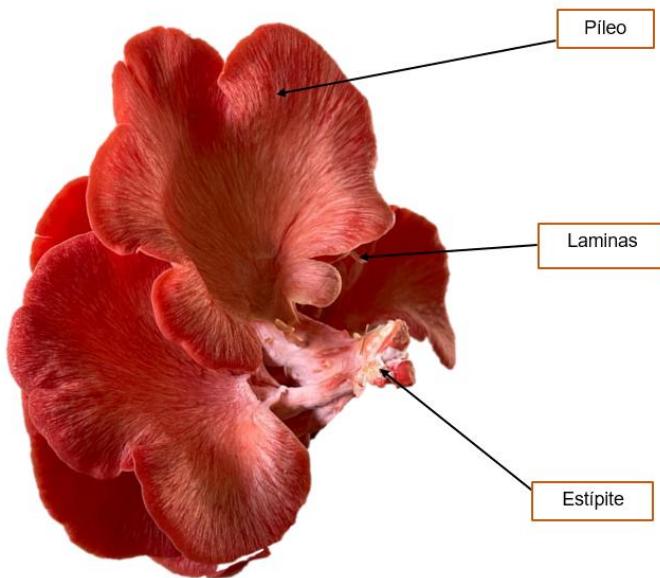


Figura 2. Morfología y estructuras del cuerpo fructífero de *P. djamor*

10. Requerimiento físico *Pleurotus sp.*

10.1. Temperatura

Para la colonización del sustrato, donde las esporas germinan y forman el micelio, la temperatura óptima oscila entre 20°C y 25°C. En el desarrollo de primordios, se requiere una ligera disminución de temperatura. Se recomienda mantener la temperatura en el rango de 10°C a 20°C durante esta etapa, para que, en desarrollo de los cuerpos fructíferos, se puede aumentar ligeramente la temperatura para promover el crecimiento y desarrollo de la fructificación se sugiere mantener la temperatura alrededor de 13°C a 16°C durante esta fase (Tipán, 2016).

10.2. Humedad

En la producción exitosa de *Pleurotus sp.*, es esencial poder garantizar una humedad óptima en cada etapa de crecimiento y desarrollo del hongo. Inducción de primordios: es beneficioso reducir ligeramente la humedad relativa alrededor del 70% al 80%, para estimular la formación de las estructuras reproductivas. Desarrollo de los cuerpos fructíferos: se debe mantener una humedad alta para favorecer un crecimiento óptimo de los hongos. La humedad relativa ideal en esta etapa generalmente se encuentra entre el 80% y el 90% (Aguinaga, 2012).

10.3. Luz

Algunas especies de *Pleurotus sp.* no pueden fructificar en oscuridad y requieren hacerlo ser expuesto a longitudes de onda inferiores a 600 nm. Cuando la luz es insuficiente el hongo toma una coloración blanquecina con troncos alargados. Las condiciones de escasez de luz permiten la producción de cuerpos fructíferos con forma de corneta, sombrero muy reducido, pie alargado y débil, los carpóforos pálidos no pigmentados aparecen cuando la intensidad luminosa se sitúa por debajo de 300 lux, cuando la intensidad de luz es superior a 2000 lux se puede inhibir la iniciación del fruto (Donado, 2014).

11. Requerimientos químicos *Pleurotus djamor*

11.1. ph

Cuando se habla de la producción de hongos comestibles existe una amplia tolerancia al pH, en el caso específico del género *Pleurotus*, el rango de pH adecuado para el desarrollo del micelio se encuentra entre 6.0 y 7.0, mientras que la fructificación ocurre preferentemente en un rango de pH de 6.5 a 7.0. Es importante tener en cuenta que estos valores que pueden variar entre diferentes cepas y especies de hongos (Valera, 2019).

Tabla 1. Comparación de requerimientos fisicoquímicas en la producción de *Pleurotus sp.* (Valera, 2019).

Etapa de crecimiento	Temperatura °C	Humedad %	Humedad Relativa	Luz lux	pH
Colonización de sustrato	20-25	60-95	60-70	0	6-7
Inducción de primordios	10-20	70-80	80-95	0	6-7
Desarrollo de cuerpos fructíferos	13-16	80-90	*	300	6-7

En la tabla 1 se encuentra diferentes parámetros para la para la producción de *Pleurotus sp.* en las diferentes etapas de crecimiento de hongos en cultivo controlado, incluyendo la colonización del sustrato 20-25 °C, 60-95% humedad, 60-70% humedad relativa, 0 lux, pH 6-7, la inducción de primordios 10-20 °C, 70-80% humedad, 80-95% humedad relativa, 0 lux, pH 6-7 y el desarrollo de cuerpos fructíferos 13-16 °C, 80-90% humedad, 300 lux, pH 6-7.

11.2. Enzimas

Los hongos tienen la capacidad de descomponer compuestos complejos como la lignina, esto lo realiza las enzimas, como las celulasas, xilananas y amilasas, estas cumplen un papel clave al descomponer moléculas grandes como la celulosa, la hemicelulosa y el almidón, produciendo glucosa y otros compuestos más simples. Este proceso de conversión de materiales lignocelulósicos en glucosa tiene aplicaciones prácticas en diversas industrias (Solis, 2021).

11.3. Metabolitos secundarios y de interés biológico

Los macromicetos producen metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, los pigmentos carotenoides y el ergosterol, estos compuestos pueden reducir el riesgo de padecer algunas enfermedades, como por ejemplo cáncer o trastornos cardiovasculares. Estos poseen algunos compuestos químicos que tienen una actividad antioxidante que actúan como agentes antiinflamatorios y contra el envejecimiento celular (Cano y Romero, 2016).

El crecimiento de los hongos del género *Pleurotus*, pueden producir variedad de moléculas degradadoras de materiales lignocelulósicos, entre las que se encuentran las enzimas como las celulolíticas, xilanolíticas y ligninolíticas. El complejo de enzimas celulolíticas consiste en tres enzimas hidrolíticas: endoglucanasa, exoglucanasa y βglucosidasa, las cuales trabajan en conjunto. Las enzimas xilanolíticas tienen la capacidad de degradar la hemicelulosa y su nombre varía de acuerdo con la molécula que degraden según el sustrato (Benavides, 2013).

Del Moral (2021) menciona que algunas cepas del género *Pleurotus* como lo es *P.ostreatus* contiene compuestos bioactivos con propiedades medicinales. Entre ellos, la lovastatina, que es un metabolito secundario perteneciente al grupo de las estatinas, ha demostrado su capacidad para reducir los niveles de colesterol en la sangre y es recomendada para la prevención de enfermedades cardiovasculares, también heteroglícanos que pueden estimular la actividad de los macrófagos en el sistema inmunológico.

12. Residuos agroindustriales

La agroindustria se divide en dos categorías, alimentaria y no alimentaria. La primera se enfoca en la transformación de materias primas agrícolas, ganaderas, forestales y pesqueras para la elaboración específica de alimento humano. Incluyendo la selección de calidad, clasificación, embalaje, almacenamiento y transformaciones de los productos y subproductos derivados de la materia prima original. Por otro lado, la no alimentaria se ocupa de la transformación de estos productos en materias primas para la transformación de diversos productos industriales, por lo tanto, utilizan los recursos naturales disponibles (Gob.Mx, 2017). Los residuos se generan en cualquier proceso productivo, de un total alrededor de 3,045 billones de toneladas anuales a nivel mundial y en México se generaron 75.73 millones de toneladas de materia seca de residuos agroindustriales

que por lo general terminan siendo desechados del proceso que los generó, aunque se pueden aprovechar para obtener otro producto ya sea con valor económico, comercial o social, estos residuos presentan distintas características para su aprovechamiento en otra cadena de producción (Vargas y Pérez, 2018; Gutiérrez, et al., 2020).

En México, se ha empleado técnicas tradicionales para acelerar el ciclo de cultivo y reduciendo los costos de producción, esto se logra utilizando sustratos anteriores no considerados, como virutas y aserrín de diferentes árboles y varios residuos agrícolas como maíz, caña de azúcar, avena, entre otros. En el país, se generaron 75.73 millones de toneladas de materia seca de 20 diferentes cultivos, de las cuales 60.13 millones de toneladas corresponden a los que les llaman residuos primarios obtenidos durante la cosecha, incluyendo hojas y tallos de cereales (Romero y Arenas, et al., 2017).

Los residuos se generan al realizar cualquier producción y por lo general no tienen una segunda utilidad y por lo tanto el sector agroindustrial no es la excepción, se presenta una opción que es la revalorización, donde se unen a otra cadena de producción como una alternativa de recuperación de algún medio contaminado (Saval, 2012). En el aprovechamiento de los residuos agroindustriales permite dar una solución a diferentes problemáticas ambientales originadas tanto por la generación y disposición de estos residuos como por otros factores producto del desarrollo de otros sectores productivos, ayudando a mitigar el uso de recursos naturales renovables y no renovables como materia prima de ciertos productos (Grass, 2011).

13. Requerimientos físicos del sustrato

13.1. Humedad

El contenido de humedad relativa es una de las condiciones más importantes para la producción de hongos comestibles, en la etapa de la incubación la humedad relativa, debe mantenerse entre 65 y 70 % y durante la fructificación debe mantenerse entre 80 y 95%, cuando la humedad es muy baja se retrasa el desarrollo de los cuerpos fructíferos, mientras que humedades muy altas favorecen el desarrollo de plagas o enfermedades (Tipán, 2016). Sin embargo, se ha encontrado que la humedad relativa por sí sola no es suficiente para aumentar la producción, ya que la combinación de la humedad ambiental con la temperatura óptima es un factor crucial (Martínez, 2012).

14. Requerimientos químicos del sustrato

14.1. Celulosa

La celulosa como se ve en la figura 3 se define como un polímero compuesto por cadenas lineales de glucosa enlazadas por 1,4- β -glucosídicos. Estas cadenas de glucosa están dispuestas en forma alternada, con una rotación de 180 grados entre sus moléculas adyacentes, que da lugar a unidades de celobiosa. La polímero de la celulosa existe en dos formas que es la cristalina y la amorfica. La celulosa cristalina presenta una estructura altamente organizada, mientras que la celulosa amorfica es menos organizada. La longitud de las cadenas de celulosa puede variar dependiendo de su origen y un peso molecular superior a 180,000. En la naturaleza, las moléculas de celulosa se agrupan en microfibrillas, en la . La degradación de la celulosa está relacionada con la asociación con las hemicelulosas y la lignina, como se muestra en la tabla 2 son diversos residuos agroindustriales y sus porcentajes de celulosa(Sánchez y Royse, 2008).

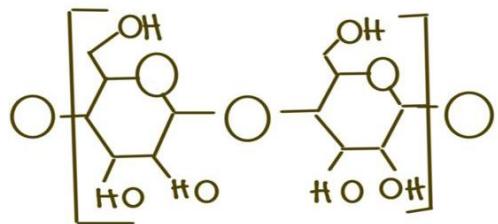


Figura 3. Estructura de molecular de la celulosa

14.2. Lignina

La lignina es un componente presente entre las células fibrosas de las plantas, y es el segundo compuesto más abundante en la Tierra, la lignina tiene la función de aportar rigidez y los hongos conocidos como "hongos de la pudrición blanca" son los organismos más eficientes en la degradación de la lignina y los residuos agroindustriales suelen tener una composición entre un 60-80% de celulosa y hemicelulosa, y un 5-20% de lignina como se muestra en la tabla 2 son diversos residuos agroindustriales y sus porcentajes de lignina (García, 2021).

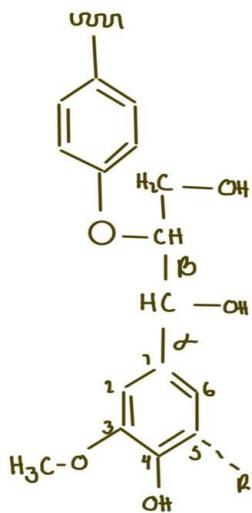


Figura 4. Representación gráfica de la estructura molecular de la lignina

14.3. Hemicelulosa

La hemicelulosa está compuesta por monómeros como xilosa, manosa y glucosa que se encuentran enlazados por β -1,4, que se distingue por su estructura y composición. Este monómero presenta cadenas laterales formadas por otros azúcares que pueden estar modificadas por la acetilación o metilación y su variabilidad da origen a diferentes tipos como glucuronoxilanos y glucoronoarabinoxilanos. Estas características estructurales son clave para entender su función en los tejidos vegetales como se muestra en la tabla 2 son diversos residuos agroindustriales y sus porcentajes de hemicelulosa (Sánchez y Royse, 2008).

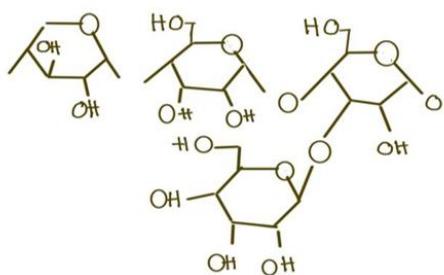


Figura 5. Representación gráfica de la estructura molecular de la lignina

Tabla 2. Caracterización estructural de residuos agroindustriales (Flórez Montes y Rojas González, 2019).

Residuo Agroindustrial	%Lignina	%Celulosa	%Hemicelulosa
Casca de maracuyá	15-19	35-40	15-18
Casca de plátano	5-11	30-42	24-29
Casca de piña	5-11	30-35	10-26
Casca de tomate de árbol	10-16	30-35	40-47
Semilla de tomate	15-20	15-22	30-35
Vástago de tomate de árbol	15-20	40-45	5-10
Casca de mango	25-30	40-45	5-10
Borra de café	25-30	25-30	25-30
Casca de lulo	20-25	25-30	20-25
Semilla de mandarina	20-25	40-45	10-15
Semilla de naranja	10-15	45-50	5-10
Casca de guanábana	25-30	40-45	10-15

Capítulo III

VIII. Metodología

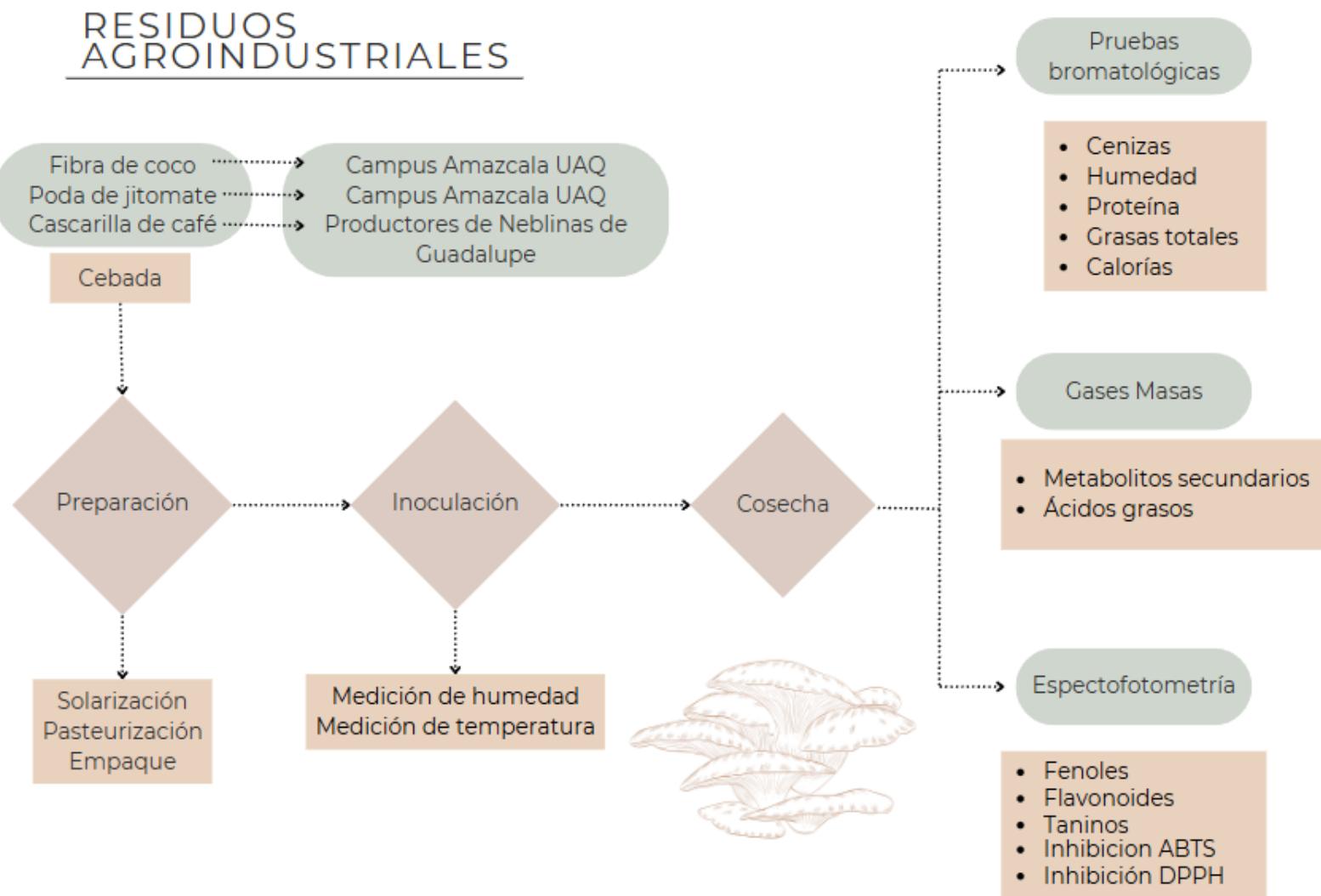


Figura 6. Diagrama de flujo de actividades.

15. Descripción del sitio

El presente proyecto se basó en un estudio experimental comparativo para evaluar que la cascarilla del café, los restos de la poda del jitomate y sustrato de simbra fibra de coco para la producción de *Pleurotus sp.* con diferentes tratamientos fúngicos a diferentes proporciones, teniendo como control el sustrato de Cebada.

El experimento se llevó a cabo en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro 20° 42' 17", 100° 15' 34" W a 1922 msnm como se muestra en la figura 7 y en la figura 8 es el cuarto de reproducción de hongos, con cepas de cultivos de hongos *Pleurotus djamor*.

Los análisis que a continuación se mencionan se llevaron a cabo en el Campus Aeropuerto en el laboratorio de Metabolitos y Nanocompositos. Los análisis se realizaron, por triplicado e incluye, el porcentaje de cenizas, humedad, carbohidratos totales, ácidos grasos, proteína y fibra dietética, así como por métodos espectrofotométricos fenoles totales, flavonoides, capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) y metabolitos de bajo peso molecular por Cromatografía de gases acoplada a Masas y calorías mediante calorímetro isoperbólico.



Figura 6. Zona productiva de hongos comestibles en UAQ Amazcala.



Figura 7. Cuarto de reproducción de hongos comestibles.

16. Residuos agroindustriales

Los sustratos utilizados son tres residuos agroindustriales, la cascarilla de café fue adquirida con productores de café que está ubicado en Neblinas de Guadalupe, la fibra de coco se obtendrá del Campus Amazcala Querétaro como residuo de producciones anteriores y residuos de poda de jitomate adquirida del Campus Amazcala en Querétaro, como se muestra en la figura 6.

17. Preparación del sustrato

- ✓ Los residuos de cascarilla de café figuras 8 (c), poda de jitomate figura 8 (a) y fibra de coco figura 8 (c), fueron sometidos a un proceso de secado a la exposición directa al sol (García, 2003).
- ✓ Se prepararán 16 tratamientos a diferentes concentraciones.
- ✓ Se llenarán bolsas de propileno de 50 x 70cm con 1,000gr de peso seco del sustrato.
- ✓ Se hidratarán durante 24 horas a un 70% - 80% de humedad final.
- ✓ Pasteurización de las bolsas con perforaciones alrededor, dentro de una vaporera de 70 L, cubriendolas en totalidad y se esterilizaran durante 2h, terminando se dejan enfriar a temperatura ambiente (Fernández, 2004).

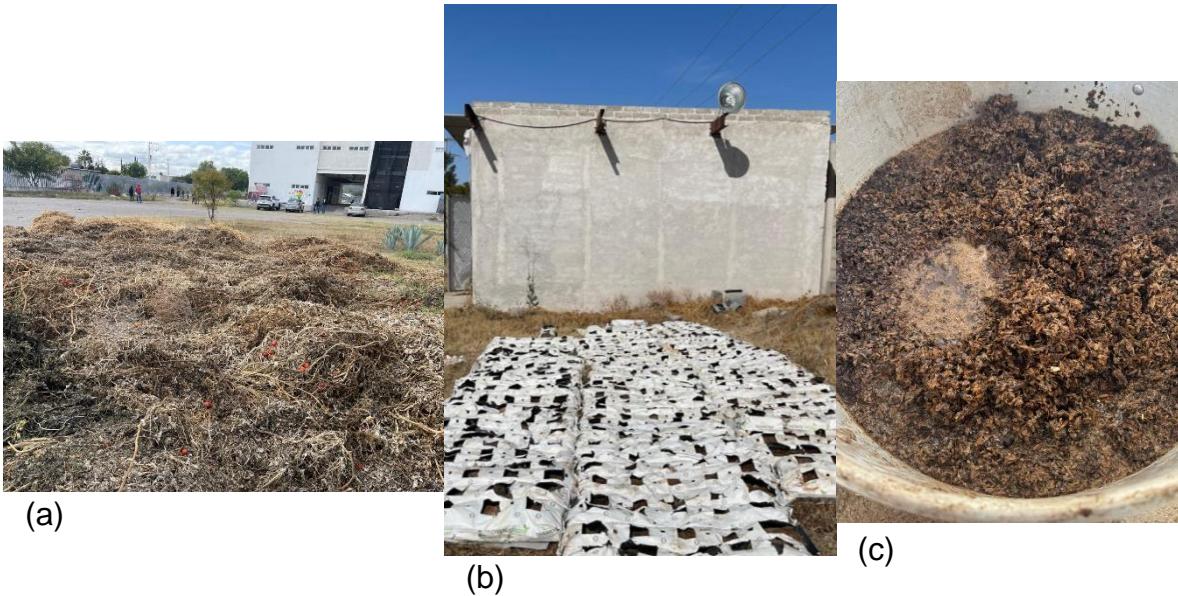


Figura 8. Residuos agroindustriales poda de jitomate (a), fibra de coco (b) y cascarilla de café (c) sometidos a proceso de secado a disposición directa del sol.

18. Proporciones

En el estudio, se llevó a cabo un experimento completamente al azar para evaluar el efecto de diferentes mezclas de residuos agroindustriales en el crecimiento y desarrollo de *P. djamor*. Los diferentes tratamientos consistieron en combinaciones en porcentajes de coco, jitomate y cascarilla de café, en proporciones que oscilaron entre el 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de cada residuo, complementándose con cebada para completar el 100% del sustrato. Las mezclas incluyeron proporciones como 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 y 100:0, donde el primer valor representa el porcentaje del residuo orgánico y el segundo el porcentaje de cebada.

Tabla 3. Se muestran los tratamientos para la determinación del mejor sustrato para *Pleurotus sp*

Tratamiento	% Residuo	Cebada
Coco 2:10	20%	80%
Coco 4:10	40%	60%
Coco 6:10	60%	40%
Coco 8:10	80%	20%
Coco	100%	0%
Jitomate 2:10	20%	80%
Jitomate 4:10	40%	60%
Jitomate 6:10	60%	40%
Jitomate 8:10	80%	20%
Jitomate	100%	0%
Cascarilla de Café 2:10	20%	80%
Cascarilla de Café 4:10	40%	60%
Cascarilla de Café 6:10	60%	40%
Cascarilla de Café 8:10	80%	20%
Cascarilla de Café	100%	0%
Cebada	0%	100%



Figura 9. Bolsas con diferentes porcentajes de cada sustrato.

19. Inoculación

- ✓ Se empieza con la esterilización de la zona de trabajo.
- ✓ Se agregan 50gr de inoculo y 5gr de carbonato de calcio distribuyéndolo manualmente, que se colocaran en los estantes antes de la colonización, como se logra ver en la figura 9.
- ✓ El crecimiento micelial se llevará a cabo en un cuarto cerrado como se ve en la figura 10 con temperatura promedio de 13 y 25 °C., con un rango de humedad relativa entre 40 – 80% con sistema de riego.
- ✓ Se realizará en un cuarto cerrado como la figura 11 con un rango de temperatura de 24 a 26°C y de humedad relativa entre 70 a 80 % si iluminación (Romero et al, 2000; García, 2003; Fernández, 2004).



Figura 10. Acomodo de bolsas a un rango de temperatura de 24 a 26°C y de humedad relativa entre 70 a 80 %.

20. Cosecha

- ✓ Los cuerpos fructíferos que alcanzaron un tamaño mayor a 5cm se realiza la cosecha, los desprendimientos son de manera manual usando guantes de látex y cubre bocas.
- ✓ Una vez cosechados se pesarán, evitando la perdida de humedad, se registrará el tiempo de colonización en las bolsas el peso en gramos.



Figura 11. Cuarto de producción

Análisis

20.1. Eficiencia biológica

Es un parámetro usado para la producción en el rendimiento de los sustratos, este concepto se expresa como el porcentaje de conversión del peso seco del sustrato en peso fresco de los cuerpos fructíferos cosechados s un parámetro que se utiliza comúnmente en la producción de hongos comestibles y medicinales para evaluar el rendimiento del cultivo en relación con el sustrato utilizado (Beltrán, et al., 1995).

$$\% \text{ EB} = \frac{\text{Peso fresco de cuerpos fructíferos}}{\text{Peso seco del sustrato inicial}} \times 100$$

20.2. Rendimiento

Es la cantidad de producto obtenido en relación con un insumo o una unidad de área cultivada, determinar la viabilidad económica de un sistema de producción y evaluar qué tan eficiente es un proceso en términos de generación de biomasa útil (Cedder, 1996).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso fresco de cuerpos fructíferos}}{\text{Peso humedo del sustrato inicial}} \times 100$$

20.3. Tasa de producción

Relaciona la eficiencia biológica y el tiempo en días en la cual se cumple un ciclo de un cultivo, es un parámetro que mide la cantidad de producto generado (Royse, 1989; Sanchez y Royse, 2002).

$$\text{Tasa de producción} = \frac{\% \text{ Eficiencia Biológica}}{\text{Días de producción}}$$

21. Análisis bromatológicos

21.1. Humedad

En crisoles previamente llevados a peso constante, se pesaron 2 gramos de muestra y se registró el peso combinado del crisol y la muestra húmeda. Posteriormente, las muestras se colocaron en un horno a una temperatura de 100 ± 2 °C durante un periodo de 4 a 12 horas. Una vez concluido el secado, se anotó el peso del crisol junto con la muestra seca. El porcentaje de humedad se calculó utilizando la siguiente fórmula (NMX-f-083-1986):

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} \times 100$$

Dónde:

P1 = Peso del recipiente

P2 = Peso recipiente + Muestra húmeda

P3 = Peso del recipiente + Muestra seca

21.2. Cenizas

En crisoles previamente estabilizados a peso constante, se pesaron 2 gramos de muestra y se registró el peso inicial correspondiente al crisol con la muestra húmeda. Los crisoles fueron sometidos a una temperatura de 500 °C en una mufla durante 5 horas. Una vez finalizado el proceso, se registró el peso del crisol con la muestra seca. El porcentaje de cenizas se calculó empleando la siguiente fórmula (MX-F-607-NORMEX-2013):

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P2 - P1) \times 100}{Muestra}$$

Dónde:

P2 = Peso del crisol con gramos de cenizas.

P1 = Peso del crisol vacío.

M = Muestra en gramos.

21.3. Calorías

21.4. Proteínas

El contenido de proteína cruda en las muestras se determinó a partir del valor de nitrógeno total, obtenido mediante el método Kjeldahl. Luego, este valor se multiplicó por el factor corrector de proteína: 4.38, siguiendo el protocolo descrito por la norma mexicana NMX-F-068-S-1980.

21.5. % Grasa total

El contenido de grasa cruda se determinó mediante el método de extracción por microondas (EPA 3546). Este proceso consistió en extraer la grasa de la muestra manteniendo agitación constante, con presión y temperatura controladas. Luego, la grasa extraída se cuantificó por gravimetría utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa total} = \frac{P1}{P2} \times 100$$

P1 = Peso de la grasa en gramos

P2 = Peso de la muestra en gramos

22. Medición de color

Se evaluó la coloración de los cuerpos fructíferos liofilizados. Para ello, se empleó un espectrómetro CR-400 (Konica Minolta) utilizando el sistema de unidades L* a* b* CEN.

23. Identificación de metabolitos

Las pruebas, de identificación de metabolitos de bajo peso molecular se realizarán con GC-MS de la serie Agilent7890A (Wilmington, DE, EE. UU.) Gases Masas y un detector Agilent simple cuarupolo MS (modelo 5975C), con set de energía del electrón a 70 eV y el intervalo de masas 50-700 m / z. Una columna capilar HP-5MS (30 m x 0,25 mm de diámetro interno x 0.25 lm) y un inyector splits/splitless (2 mm de diámetro). El inyector tenía una temperatura 250°C. GC se utilizará un modelo solitless con un tiempo de 2.5 minutos sin splitless. El control de GC-MS y el procesamiento de datos se realizaron con el software Chem Station (Agilent Technologies).

24. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron en el programa Stathgraphics y se empleó un ANOVA con prueba de Tukey con un 95 % de confiabilidad y un valor de p= 0.05 para determinar la diferencia significativa entre grupos y tratamiento.

Como modelo matemático se realizará una comparación de las variables independientes que son los diferentes sustratos, por lo tanto, se tienen las variables dependientes como, Eficiencia biológica, la Tasa de producción y Rendimiento. Los datos de los distintos parámetros analizados correspondieron a la medianas y desviaciones estándar de cada una de las muestras por triplicado.

Los datos se sometieron a pruebas de ANOVA de un factor y de prueba de rango de múltiples T, para establecer si hubo algún cambio significativo diferencias entre las muestras para cada parámetro.

C. Capítulo IV

IX. Resultados y discusiones

El presente estudio evaluó la influencia de diferentes mezclas de sustratos agroindustriales, cada uno de los tratamientos se calculó, calidad nutrimental y contenido de metabolitos secundarios en *P. djamor*, a través del análisis con 16 tratamientos cada uno con 3 repeticiones, se identificaron diferencias significativas en el rendimiento, la eficiencia biológica y la composición química del hongo. Los resultados destacaron la importancia de la utilización de los residuos agroindustriales como la de cascarilla de café, poda de jitomate y fibra de coco en la producción *P. djamor* para obtener alimento de calidad, ya que estos superaron los valores obtenidos por nuestro control que es la cebada.

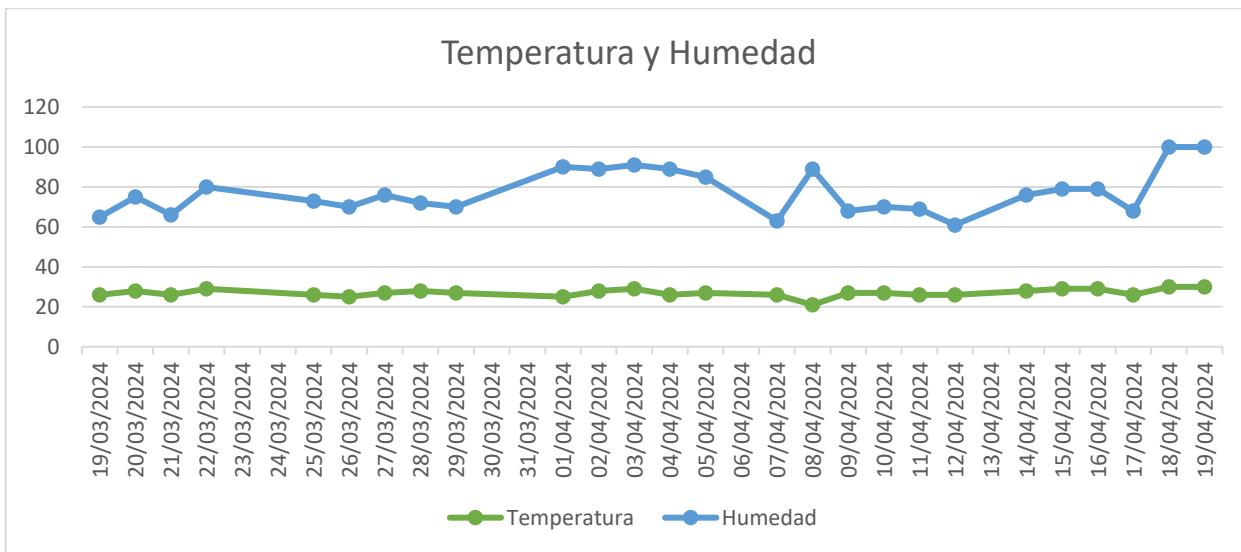


Figura 12. Temperatura y humedad dentro del cuarto de crecimiento.

Precocidad

Los resultados que se obtuvieron durante un mes y medio de experimentación incluyeron tres replicas para cada uno de los tratamientos, estos mostraron que se manifestó el micelio en todos los tratamientos a partir de la primera semana como se muestra en la figura 13 que es café 4:10, al igual que para los sustratos de poda de jitomate, cascarilla de café donde nos indica que las condiciones de temperatura y humedad para la producción de micelio eran adecuadas para cada uno de los diferentes sustratos y proporciones con una humedad entre 60-70% (Aguinaga, 2012).

En comparación con la figura 14, que le pertenece al tratamiento de fibra de coco al 100% que a pesar de que está tomada el mismo día no se nota el crecimiento de micelio como en la figura 15, Bermúdez (2020) en la producción de *P. ostreatus* con fibra de coco tardó 10 días para presentar micelio. La producción

tardía de micelio podría ser por la cantidad de polímeros como lo menciona Meneses (2024) quien indica que la fibra de coco contiene un porcentaje alrededor de 40-43% de celulosa, porcentaje que podría influir en el lento crecimiento de micelio por el proceso de conversión de materiales y producción de enzimas para la degradación de estos polímeros (Solis, 2021).

A principios de la tercera semana se observaron ya los primeros primordios, sin embargo, sin embargo hubo un aumento de la humedad al 100%, lo que ocasiono que se vieron comprometidos por un fallo en los protocolos de limpieza del cuarto de cultivo y resulto que los primordios tuvieran una alteración de crecimiento tomando una forma de corneta y piel delgada y pálida como se muestra en la figura 16, adicional mente, con deformaciones por el exceso de humedad y escasez de luz fueron observadas por Donato (2014) que observo que las condiciones de escasez de luz producen los cuerpos fructíferos con forma de corneta, sombrero muy reducido, pie alargado y débil, los carpóforos pálidos no pigmentados.

Por otro lado, el sustrato de residuo de fibra de coco fue el que presento mayor número de primordios en los diferentes tratamientos, sin embargo, tardo más tiempo en generar cuerpos fructíferos, en este sentido Bermúdez (2020) produjo *P. ostreatus* con fibra de coco y tardo en fructificar hasta 33 días para fructificación en comparación con *P. djamor* que requirió 20 días para presentar crecimiento de los cuerpos fructíferos de los diferentes tratamientos si produjo más que el control como se muestra en la figura 17.

En la producción de los cuerpos fructíferos, si dependieron del tipo de residuo agroindustrial y del porcentaje que se usó. El sustrato de poda de jitomate mostro un crecimiento inicial de primordios más rápido en comparación de los demás sustratos, por lo tanto, la poda de jitomate favorece en el desarrollo de *P. djamor*.



Figura 13. Bolsa residuo de cascarilla de café 4:10. 1 semana de crecimiento.



Figura 14. Bolsa de residuo de fibra de coco al 100%. 1 semana de crecimiento.



Figura 15. Bolsa de residuo de fibra de coco al 100%. 13 días de crecimiento.



Figura 16. Bolsa residuo de cascarilla de café 4:10

Producción

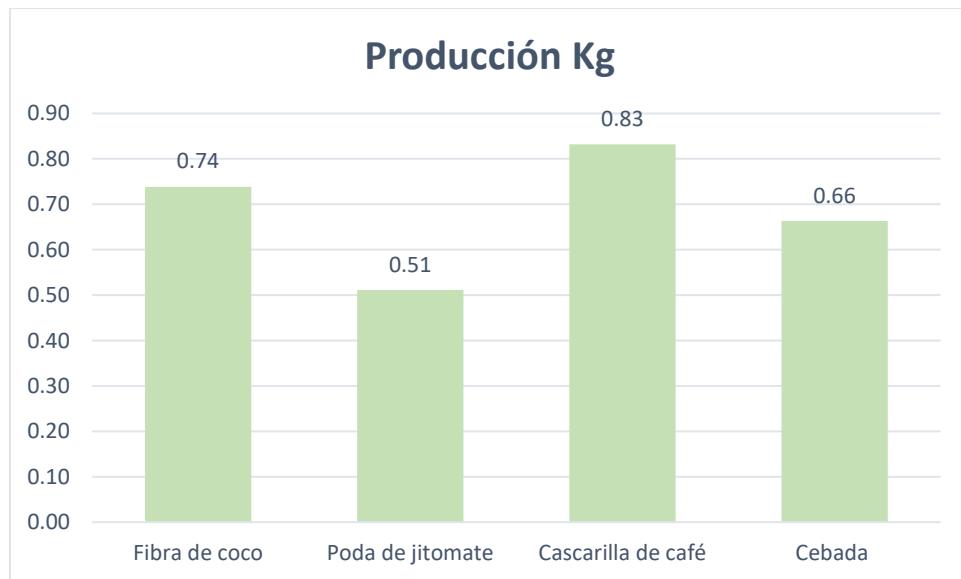


Figura 17. Producción en kg de *P. djamor* de los diferentes tratamientos al 100%, las barras indican la cantidad en Kg .

La figura 17 muestra los resultados obtenidos en la producción de *P. djamor* cultivado en diferentes tratamientos. El sustrato que mostró la mayor producción fue la cascarilla de café que alcanzó 0.83 kg, lo cual sugiere que este residuo agroindustrial contiene características nutricionales y estructurales favorables para el desarrollo y la fructificación del hongo. Por otro lado, el sustrato menos eficiente fue el Jitomate, con una producción de 0.51 kg. Esta diferencia significativa resalta la necesidad de analizar la composición química y física de cada sustrato para entender su interacción con el desarrollo del hongo.

*Tabla 4. Valores de los parámetros de producción en *P. djamor*.*

Tratamiento	Producción Kg	Días de cosecha	%Eficiencia biológica	Rendimiento Kg/m ²	%Tasa de producción
COCO 2:10	0.86 ± 0.11 ^{BC}	* 4 ± 1.5 ^{CDE}	86.93 ± 11.97 ^{ABC}	19.03 ± 2.6 ^{BCDEF}	* 24.2 ± 8.40 ^A
COCO 4:10	0.63 ± 0.15 ^{BCD}	* 3.66 ± 0.5 ^{DE}	63.73 ± 15.95 ^{BCD}	14.37 ± 3.5 ^{EF}	* 17.13 ± 2.29 ^{ABCD}
COCO 6:10	0.48 ± 0.05 ^{CD}	* 3.66 ± 0.5 ^{DE}	48.66 ± 5.00 ^{CD}	10.99 ± 1.08 ^{EF}	13.39 ± 1.36 ^{CD}
COCO 8:10	0.87 ± 0.08 ^{BC}	5 ± 0.86 ^{ABC}	87.53 ± 8.88 ^{ABC}	19.94 ± 2.05 ^{BCDEF}	* 17.77 ± 2.05 ^{ABC}
COCO	0.73 ± 0.1 ^{BC}	* 4.33 ± 1 ^{BCD}	73.83 ± 10.68 ^{BC}	18.66 ± 2.5 ^{BCDEF}	* 17.58 ± 3.00 ^{ABC}
VALOR DE P	0	0	0	0	0
JITOMATE 2:10	0.57 ± 0.17 ^{CD}	* 4.33 ± 1 ^{BCD}	57.8 ± 17.27 ^{CD}	14.18 ± 4.18 ^{EF}	13.56 ± 3.10 ^{CD}
JITOMATE 4:10	0.60 ± 0.05 ^{CD}	* 3 ± 0 ^{EF}	60.2 ± 5.78 ^{CD}	14.24 ± 1.36 ^{EF}	* 20.06 ± 1.92 ^{ABC}
JITOMATE 6:10	0.80 ± 0.008 ^{ABC}	4.66 ± 0.5 ^{ABCD}	80.13 ± 0.85 ^{ABC}	21.55 ± 0.36 ^{BCDEF}	* 17.37 ± 2.09 ^{ABC}
JITOMATE 8:10	* 1.01 ± 0.19 ^{AB}	* 4.33 ± 0.5 ^{BCD}	* 101.6 ± 19.31 ^{AB}	27.22 ± 5.18 ^{ABCDE}	* 23.88 ± 6.11 ^A
JITOMATE	0.51 ± 0.109 ^{CD}	5.33 ± 0.5 ^{AB}	51.13 ± 10.9 ^{CD}	12.78 ± 2.70 ^{EF}	9.49 ± 1.09 ^D
VALOR DE P	0	0.0005	0	0	0
CASCARILLA DE CAFÉ 2:10	* 1.18 ± 0.51 ^A	4.66 ± 1 ^{ABCD}	* 118.93 ± 51.52 ^A	* 38.83 ± 14.04 ^A	* 24.83 ± 7.84 ^A
CASCARILLA DE CAFÉ 4:10	* 0.99 ± 0.17 ^{AB}	4.66 ± 1 ^{ABCD}	* 99.4 ± 17.70 ^{AB}	* 29.51 ± 5.27 ^{AB}	* 22.88 ± 2.81 ^{AB}

CASCARILLA DE CAFÉ 6:10	* 0.25 ± 0.07 ^D	* 2 ± 0 ^F	* 25.33 ± 7.65 ^D	8.39 ± 2.54 ^F	12.66 ± 3.82 ^{CD}
CASCARILLA DE CAFÉ 8:10	0.68 ± 0.04 ^{BC}	* 4.33 ± 0.5 ^{BCD}	68.66 ± 4.45 ^{BC}	16.56 ± 10.86 ^{CDEF}	16.01 ± 1.94 ^{ABC}
CASCARILLA DE CAFÉ	0.83 ± 0.66 ^{ABC}	5.66 ± 0.5 ^A	83.16 ± 6.56 ^{ABC}	* 27.59 ± 2.06 ^{ABC}	14.31 ± 1.78 ^{CD}
VALOR DE P	0.0013	0	0.0013	0.0001	0
CEBADA	0.66 ± 0.05 ^{BC}	5.33 ± 0.5 ^{AB}	66.33 ± 5.82 ^{BC}	14.75 ± 0.43 ^{DEF}	12.6 ± 2.06 ^{CD}

Valores promedio, ± desviación estándar, obtenidos a partir de muestras frescas de *P. djamor*, con una *n*=3. En rojo se indican los valores más altos de cada parámetro. Valor estadístico de *p* = 0.000. Se indica con * los tratamientos que tuvieron una diferencia estadísticamente significativa a la media del control.

En la tabla 4. Se muestran la ejecución de un análisis de varianza de un factor para los diferentes analitos. Uno de estos analitos es la producción donde se obtuvieron valores estadísticos de *p*=<0.05 en todos los tratamientos que son significativamente diferentes de cebada. El tratamiento de la cascarilla de café al 2:10 obtuvo la mayor producción en kg promedio (1.18 ± 0.51 g) como se observa en la tabla 4, significativamente superior a todos los demás tratamientos. Por otro lado, la cascarilla de café al 6:10 presentó el menor promedio de la producción (0.25 ± 0.07 g), lo cual sugiere que altas concentraciones de este sustrato pueden limitar el desarrollo del hongo,

Los días de cosecha, se obtuvieron valores estadísticos de *p*=<0.05 que son significativamente diferentes de cebada, donde fueron influenciados por los diferentes residuos agroindustriales como se observa en la tabla 4. El tratamiento que tuvieron más cosechas fue la cascarilla de café al 100% (5.66 ± 0.5 días), mientras que la cascarilla de café al 6:10 solo produjo durante 2 días. En comparación Kılıç (2020), por otro lado, quien obtuvo resultados diferentes al producir *P. djamor* en diferentes residuos de aserrín de madera obtienen una producción en (21.3 ± 0.96 días), que periodo considerablemente mayor al obtenido en nuestra investigación, donde fue más rápido.

La eficiencia biológica se obtuvieron valores estadísticos de *p*=<0.05 que son significativamente diferentes de cebada, como se observa en la tabla 4, donde la eficiencia biológica mide la conversión de sustrato en biomasa, fue mayor en el tratamiento de cascarilla de café 2:10 ($118.93 \pm 51.52\%$), destacando su capacidad para maximizar la producción de *P. djamor* a partir del sustrato. Los tratamientos con fibra de coco y jitomate mostraron valores intermedios, mientras que la cebada presentó una eficiencia relativamente baja ($66.33 \pm 5.82\%$) de acuerdo con la literatura previa donde reportan que se produjo *P. djamor* y con diferentes tratamientos partos, pulpa de café y olate de maíz, donde obtuvieron 38% de eficiencia biológica con el tratamiento de 100% pulpa de café y la mezcla de 1:1 de olate y pulpa de café fue la más baja de 20% de eficiencia biológica (Roblero, 2021).

El rendimiento se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ que son significativamente diferentes de cebada, como se observa en la tabla 4, el más alto fue registrado en el tratamiento con cascarilla de café al 2:10 ($38.83 \pm 14.04 \text{ Kg/m}^2$), seguido por el tratamiento de cascarilla de café al 4:10. Salas (2019) produjo *P. djamor* con diferentes sustratos como cascara de café, maíz molido y paja de arroz en diferentes proporciones y obtuvo que el mejor sustrato en cuanto a la producción es 290g paja de arroz + 20g de maíz molido con valores alrededor de (128 ± 9.81 g) y para la cascara de café (36.22 ± 9.1 g).

Al igual que la tasa de producción donde se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ que son significativamente diferentes de cebada, como se observa en la tabla 4 ($24.83 \pm 7.84\%$), en contrario con lo que nos dice la literatura, donde, en la producción de *P. djamor* utilizaron un residuo que es la chala en diferentes proporciones con aserrín como control y tuvieron de resultado aserrín 70 %, chala 30 % ($14.1 \pm 1.85\%$), aserrín 50 %, chala 50 % ($11.01 \pm 7\%$) y Aserrín 100 %, ($7.13 \pm 1.06\%$) (Hurayhua, 2024). En contraste, el tratamiento con jitomate al 100% y la cascarilla de café al 6:10 que tuvieron valores bajos en los parámetros de biomasa, por otra parte el tratamiento control que es la cebadal al 100%, mostró valores inferiores en la mayoría de los parámetros en comparación con los sustratos agroindustriales, particularmente frente a la cascarilla de café al 2:10 y al 4:10. Estos hallazgos son consistentes en los estudios previos utilizando cebada y agave en diferentes proporciones; que en estos casos, se obtuvo mejor producción de biomasa aquellos que no eran el control (Moreno, 2020).

Composición bromatológica de las setas de los diferentes residuos agroindustriales

En los resultados de la tabla 5, se muestran la composición bromatológica de las setas cultivadas en los diferentes residuos agroindustriales. Se puede apreciar que en el porcentaje de humedad se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ en el tratamiento de fibra de coco $p=0.0013$ que son significativamente diferentes de cebada en el porcentaje de humedad los tratamientos de poda de jitomate al 4:10 ($89.91 \pm 1.07\%$), lo que sugiere una excelente capacidad para retener agua. En contraste, el jitomate al 100% tuvo el menor contenido de humedad ($80.68 \pm 9.22\%$), indicando una menor eficiencia en la retención hídrica. Para el porcentaje de cenizas se obtuvo valores estadísticos de $p=<0.05$ en el tratamiento de fibra de coco que son significativamente diferentes de cebada en el porcentaje de cenizas $p=<0.0001$, cabe destacar que una menor presencia de porcentaje de humedad está relacionado a una mayor presencia de cenizas, como se observó que el jitomate al 100% ($1.84 \pm 0.77\%$), lo que podría reflejar una mayor presencia de minerales o compuestos inorgánicos. Por otro lado, la fibra de coco al 2:10 ($0.86 \pm 0.10\%$) y la cebada ($0.86 \pm 0.22\%$) compartieron el menor porcentaje, lo que indica una menor concentración de estos compuestos. En la literatura en la producción de *P. djamor* con diferentes residuos agroindustriales como paja de arroz, rastrojo de maíz y tuza de maíz y obtuvo de resultado de porcentaje de cenizas mayor en los porcentajes de paja de arroz 24% (Ruiloba, 2014)

Tabla 5. Muestra los diferentes resultados obtenidos de los análisis bromatológicos de *P. djamor*.

Tratamiento	% Humedad	% Cenizas	%Carbohidratos	%Calorías	%Grasas Totales	%Proteína
Coco 2:10	89.83 ± 1.04 ^A	0.86 ± 0.10 ^D	22.03 ± 2.74 ^{CDE}	4.26 ± 0.07 ^A	1.96 ± 0.21 ^{BCDE}	8.09 ± 0.25 ^{CDEF}
Coco 4:10	89.39 ± 4.8 ^A	1.01 ± 0.45 ^{BCD}	24.51 ± 1.31 ^{ABC}	4.27 ± 0.05 ^A	1.94 ± 0.22 ^{BCDE}	9.01 ± 0.17 ^B
Coco 6:10	85.86 ± 6.93 ^{AB}	1.05 ± 0.41 ^{BCD}	21.15 ± 2.05 ^{DE}	4.19 ± 0.06 ^{AB}	1.79 ± 0.24 ^{CDE}	7.88 ± 0.41 ^{DEF}
Coco 8:10	84.99 ± 6.1 ^{AB}	1.36 ± 0.60 ^{ABC}	21.91 ± 1.87 ^{CDE}	4.26 ± 0.01 ^A	2.54 ± 0.33 ^A	7.43 ± 0.12 ^{FG}
Coco	89.06 ± 2.1 ^A	1.08 ± 0.18 ^{BCD}	25.42 ± 2.52 ^{AB}	4.12 ± 0.05 ^{ABC}	2.03 ± 0.21 ^{BCDE}	9.01 ± 0.45 ^B
Valor de P	0.0013	0.0001	0.2332	0.0004	0	0
Jitomate 2:10	86.37 ± 5.7 ^{AB}	1.1 ± 0.53 ^{BCD}	24.83 ± 2.57 ^{ABC}	4.17 ± 0.10 ^{ABC}	1.89 ± 0.15 ^{CDE}	7.09 ± 0.51 ^G
Jitomate 4:10	89.91 ± 1.07 ^A	1.01 ± 0.20 ^{BCD}	22.70 ± 4.37 ^{BCDE}	4.09 ± 0.5 ^{BC}	1.68 ± 0.26 ^{DE}	7.52 ± 0.54 ^{EFG}
Jitomate 6:10	87.03 ± 6.43 ^{AB}	1.27 ± 0.54 ^{BCD}	20.52 ± 2.61 ^E	4.16 ± 0.04 ^{ABC}	1.92 ± 0.20 ^{BCDE}	9.75 ± 0.45 ^A
Jitomate 8:10	80.90 ± 12.68 ^B	1.46 ± 0.99 ^{AB}	23.26 ± 3.12 ^{BCDE}	4.13 ± 0.07 ^{ABC}	2.05 ± 0.19 ^{BCD}	7.95 ± 0.23 ^{CDEF}
Jitomate	80.68 ± 9.22 ^B	1.84 ± 0.77 ^A	22.85 ± 0.75 ^{BCDE}	4.18 ± 0.5 ^{ABC}	1.65 ± 0.14 ^{DE}	8.66 ± 0.59 ^{BC}
Valor de P	0.54	0.27	0.12	0	0.06	0
Cascarilla de Café 2:10	89.52 ± 2.82 ^A	1.04 ± 0.18 ^{BCD}	23.39 ± 6.11 ^{BCDE}	4.23 ± 0.8 ^{ABC}	2.14 ± 0.19 ^{ABC}	9.01 ± 0.16 ^{BEF}
Cascarilla de Café 4:10	87.74 ± 5.46 ^{AB}	1.03 ± 0.36 ^{BCD}	24.28 ± 0.73 ^{ABCD}	4.11 ± 0.12 ^{AB}	2.32 ± 0.37 ^{AB}	7.83 ± 0.34 ^{BCD}
Cascarilla de Café 6:10	85.49 ± 4.45 ^{AB}	1.14 ± 0.34 ^{BCD}	23.21 ± 2.77 ^{BCDE}	4.04 ± 0.24 ^{BC}	2.03 ± 0.39 ^{BCDE}	8.56 ± 0.65 ^{BCD}
Cascarilla de Café 8:10	84.61 ± 13.45 ^{AB}	1.42 ± 0.99 ^{AB}	23.51 ± 1.11 ^{ABCDE}	4.16 ± 0.02 ^C	1.8 ± 0.23 ^{CDE}	8.18 ± 0.40 ^{CDE}
Cascarilla de Café	88.3 ± 17.80 ^A	0.9 ± 0.56 ^{CD}	23.86 ± 0.39 ^{ABCD}	4.27 ± 0.06 ^A	1.62 ± 0.19 ^E	8.92 ± 0.41 ^B
Valor de P	0.53	0.29	0.12	0.005	0	0

Cebada	89.66 ± 3.44 A	0.86 ± 0.22 CD	26.59 ± 8.63 A	4.15 ± 0.07 ABC	2.02 ± 0.31 BCDE	7.65 ± 0.74 EFG
---------------	-------------------	-------------------	----------------	--------------------	---------------------	--------------------

Valores promedio, ± desviación estándar, obtenidos a partir de muestras liofilizadas de *P. djamor*, con una $n=3$. En rojo se indican los valores más altos de cada parámetro. Valor estadístico de $p = 0.000$. Se indica con * los tratamientos que tuvieron una diferencia estadísticamente significativa a la media del control.

El análisis de carbohidratos en la tabla 5, se muestran el porcentaje de carbohidratos se obtuvieron valores estadísticos en el que ningún tratamiento es significativamente diferente de cebada. El valor obtenido para cebada fue de (26.59 ± 8.63%) siendo este el mayor contenido de carbohidratos, mientras que el tratamiento de jitomate al 6:10 presentó el menor porcentaje (20.52 ± 2.61%) para carbohidratos. Por otra parte, el contenido calórico se muestran la ejecución de un análisis de varianza de un factor para los diferentes analitos se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ en todos los tratamientos que son significativamente diferentes de cebada, donde el contenido calórico más alto se observó en la cascarilla de café al 100% (4.27 ± 0.06%), posiblemente por su mayor concentración de lípidos y carbohidratos. En cambio, la cascarilla de café al 6:10 registró el valor más bajo (4.04 ± 0.24%), lo que refleja una menor densidad energética.

Se muestran el análisis de varianza al porcentaje de grasas totales se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ en todos los tratamientos que son significativamente diferentes de cebada, excepto el tratamiento de jitomate que se puede ver en la tabla 5 los porcentaje de grasas totales, la fibra de coco 8:10 (2.54 ± 0.33%), lo que sugiere que en comparación con las pruebas de calorías , en contraste, la cascarilla de café al 100% tuvo el menor valor (1.62 ± 0.19%), en contraste con la investigación Vega (2022) donde produce *P. djamor* en pulpa de café, paja de arroz, mazorca de maíz y diferentes mezclas, obtuvieron un rango de grasas del 0.77%-2.26% y comenta que el tener mejor porcentaje de grasas les da un punto positivo a *P. djamor* como un alimento nutritivo.

El análisis de varianza en el porcentaje de proteínas se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ en todos los tratamientos que son significativamente diferentes de cebada, en la tabla 5, donde, el jitomate 6:10 (9.75 ± 0.45%) destacó como el tratamiento con mayor porcentaje, lo cual es un atributo relevante desde el punto de vista nutrimental. Del lado contrario la poda de jitomate (7.09 ± 0.51%) presentó el menor contenido de proteínas. En cuanto a las proteínas Rubiola (2014) obtuvo porcentajes de proteína alrededor de 9%. Según Cruz (2020) utilizó cascarilla de café, cascarilla de arroz y aserrín en una relación 1:1:1 y un control de aserrín, donde la proteína alcanzo los 23%-43% y que pudo alcanzar niveles más altos a comparación de otros residuos por el contenido de lignina.

Tabla 6. Muestra los diferentes resultados obtenidos de los análisis de porcentaje de fibras dietéticas en *P. djamor* con los diferentes residuos agroindustriales.

Tratamiento	%Fibra soluble	% Fibra no soluble
Coco 2:10	*4.08±0.41 E	* 20.76 ± 0.63 G
Coco 4:10	*10.62 ± 0.95 AB	34.78 ±0.95 AB
Coco 6:10	* 6.26 ± 1.56 DE	* 26.03 ±0.27 F
Coco 8:10	* 7.18± 0.71 CDE	* 28.54 ± 0.60 EF
Coco	12.74 ± 1.07 A	36.24 ± 1.54 A
Valor de P	0	0
Jitomate 2:10	11.6 ± 1.35 A	35.25 ± 0.64 B
Jitomate 4:10	* 10.03 ± 0.68 ABC	* 31.3 ± 0.86 CD
Jitomate 6:10	* 11.34 ± 1.23 A	34.8 ±0.89 AB
Jitomate 8:10	* 7.72 ± 1.02 BCD	* 28.76 ± 0.87 DE
Jitomate	* 9.64 ± 0.92 ABC	* 32.58 ± 1.28 BC
Valor de P	0.07	0.413
Cascarilla de Café 2:10	12.51 ± 0.70 A	* 35.53 ± 0.81 A
Cascarilla de Café 4:10	* 10.86 ± 1.58 A	34.49 ± 1.02 AB
Cascarilla de Café 6:10	* 7.48 ± 0.99 CD	* 27.56 ± 1.03 EF
Cascarilla de Café 8:10	12.19 ± 0.31A	35.93 ± 0.24A
Cascarilla de Café	12.44 ± 1.20 A	* 33.53 ± 0.80 ABC
Valor de P	0.0002	0
Cebada	12.73 ± 0.71 A	35.28 ± 0.84 B

Valores promedio, ± desviación estándar, obtenidos a partir de muestras liofilizada de *P. djamor*, con una $n=3$. En rojo se indican los valores más altos de cada parámetro. Valor estadístico de $p = 0.000$. Se indica con * los tratamientos que tuvieron una diferencia estadísticamente significativa a la media del control.

El análisis de varianza en el porcentaje de fibra soluble se obtuvieron valores estadísticos de $p < 0.05$ en los tratamientos de fibra de coco y cascarilla de café son significativamente diferentes de cebada, en la tabla 6, donde, el tratamiento Coco 100 mostró el porcentaje más alto de fibra soluble ($12.74 \pm 1.07\%$) como se muestra

en la tabla 6, siendo estadísticamente similar a tratamientos con cascarilla de café 2:10, 8:10 y 100% y jitomate 2:10, 6:10 y 100%, los cuales también tuvieron valores elevados. Estos resultados sugieren que un mayor porcentaje de fibra de coco en el sustrato favorece significativamente la producción de fibra soluble. En contraste, el tratamiento Coco 2:10 presentó el menor contenido de fibra soluble ($4.08 \pm 0.41\%$), lo que indica que mientras las mezclas tengan más concentración de cebada, la cantidad de fibra soluble tiende a disminuir.

En cuanto a fibra no soluble el análisis de varianza en el porcentaje de fibra no soluble se obtuvieron valores estadísticos de $p < 0.05$ en los tratamientos de fibra de coco y cascarilla de café son significativamente diferentes de cebada, donde, se muestra en la tabla 6, el tratamiento con mayor valor fue Coco 100 ($36.24 \pm 1.54\%$), seguido por Cascarilla de café 2:10 y 8:10 ambos superiores al 35%. El tratamiento control con cebada 100% mostró un valor de ($35.28 \pm 0.84\%$), lo que refuerza su eficiencia como sustrato tradicional. Sin embargo, sustratos como la cascarilla de café y fibra de coco lograron resultados similares o superiores, lo que evidencia su potencial como alternativas sostenibles. Por otro lado, los tratamientos con porcentajes más bajos de fibra insoluble fueron Coco 2:10 y Cascarilla de café 6:10, con valores de ($20.76 \pm 0.63\%$) y ($27.56 \pm 1.03\%$), respectivamente. En cuanto a la literatura, se ha reportado que *P. djamor* contiene aproximadamente un 21% de fibra insoluble y un 3% de fibra soluble, estos valores contrastan con los obtenidos de los sustratos utilizados, donde se observan más alto de estos analitos (Nile y Park, 2014).

Identificación de metabolitos

Los compuestos fenólicos se producen gracias al metabolismo secundario estos poseen un grupo hidroxilo que está unido a un anillo aromático, que es el grupo fenol y estos brindan a los hongos la actividad antioxidante que tiene un efecto medicinal (Vargas, 2023).

El análisis de varianza en el contenido de fenoles (mg AG/g) se obtuvieron valores estadísticos de $p < 0.05$ en todos los tratamientos son significativamente diferentes de cebada, como se muestra en la tabla 7n como se muestra en la tabla 7, el tratamiento con Jitomate 8:10 mostró el mayor contenido de fenoles (10.60 ± 3.02 mg AG/g), seguido por Cascarilla de Café 4:10 (9.85 ± 2.76 mg AG/g) y Cascarilla de Café 2:10 (9.15 ± 1.77 mg AG/g). Estos valores fueron significativamente superiores a los del tratamiento de Coco 8:10 (6.41 ± 0.17 mg AG/g) y Cascarilla de Café 6:10 (6.48 ± 0.74 mg AG/g), que presentaron los menores contenidos. La variabilidad en los fenoles sugiere que la concentración del extracto y el tipo de material influyen significativamente en la extracción de estos compuestos. En un estudio que se realizó con pulpa de café, paja de arroz, mazorca de maíz y mezclas, obteniendo resultados alrededor de 5.42 mg/g de polifenoles, siendo el más alto el residuo de mazorca de maíz; en un sustrato de paja se obtuvo los resultados de 2.56 µg/mg (Vega, 2022; Del Moral, 2021).

*Tabla 7. Muestra los diferentes resultados obtenidos de los análisis de porcentaje de fibras dietéticas en *P. djamor* con los diferentes residuos agroindustriales de los análisis metabolitos secundarios.*

Tratamiento	Fenoles(mg AG/g)	Flavonoides (mg RU/g)	Taninos (mg EC/g)	Inhibición ABTS (mg Trolox/g)	Inhibición DPPH (mg Trolox/g)
Coco 2:10	7.2 ± 0.32 ^{CD}	0.45 ± 0.29 ^{DE}	0.03 ± 0.002 ^B	11.89 ± 1.38 ^A	* 17.68 ± 2.44 _{BC}
Coco 4:10	7.19 ± 0.88 ^{CD}	0.4 ± 0.26 ^{DE}	0.03 ± 0.005 ^B	11.89 ± 1.64 ^A	* 18.56 ± 1.38 _{ABC}
Coco 6:10	7.12 ± 0.27 ^{CD}	0.17 ± 0.08 ^E	0.02 ± 0.002 ^B	11.36 ± 1.13 ^A	* 17.47 ± 1.24 _{BC}
Coco 8:10	6.41 ± 0.17 ^D	0.19 ± 0.11 ^E	0.02 ± 0.002 ^B	12.2 ± 1.01 ^A	* 18 ± 2.4 _{BC}
Coco	6.06 ± 1.70 ^D	0.004 ± 0.11 ^E	0.02 ± 0.007 ^B	13.36 ± 1.62 ^A	18.92 ± 0.76 _{ABC}
Valor de P	0.0006	0.004	0.0037	0.9199	0.0049
Jitomate 2:10	7.5 ± 1.49 _{BCD}	* 2.06 ± 1.15 _{AB}	0.02 ± 0.002 ^B	13.09 ± 2.90 ^A	19.52 ± 0.99 _{ABC}
Jitomate 4:10	8.17 ± 1.52 _{BCD}	* 1.17 ± 1.39 _{BCDE}	* 0.04 ± 0.017 ^B	12.38 ± 1.66 ^A	* 17 ± 1.51 ^C
Jitomate 6:10	7.41 ± 0.89 ^{CD}	0.24 ± 0.11 ^E	0.02 ± 0.009 ^B	12.01 ± 1.25 ^A	19.05 ± 2.20 _{ABC}
Jitomate 8:10	* 10.6 ± 3.02 ^A	* 1.85 ± 1.12 _{ABC}	* 0.06 ± 0.013 ^A	14.17 ± 2.22 ^A	20.35 ± 0.97 _{AB}
Jitomate	8.06 ± 1.43 _{BCD}	* 1.71 ± 1.68 _{ABCD}	* 0.04 ± 0.02 ^{AB}	12.59 ± 1.40 ^A	19.01 ± 1.53 _{ABC}
Valor de P	0.0001	0.0007	0.0855	0.308	0.1124
Cascarilla de Café 2:10	* 9.15 ± 1.77 _{ABC}	* 1.13 ± 1.11 _{BCDE}	* 0.04 ± 0.02 ^B	* 17.65 ± 13.92 ^A	20.22 ± 2.57 _{AB}
Cascarilla de Café 4:10	* 9.85 ± 2.76 _{AB}	2.53 ± 1.27 ^A	0.03 ± 0.01 ^B	12.55 ± 1.08 ^A	19.72 ± 2.16 _{ABC}
Cascarilla de Café 6:10	6.48 ± 0.74 ^D	0.6 ± 0.08 ^{CDE}	0.02 ± 0.004 ^B	12.56 ± 1.57 ^A	* 18.01 ± 0.71 _{BC}
Cascarilla de Café 8:10	6.87 ± 0.77 ^{CD}	0.23 ± 0.07 ^E	0.02 ± 0.007 ^B	13.26 ± 1.17 ^A	21.08 ± 3.44 ^A
Cascarilla de Café	6.29 ± 1.14 ^D	0.29 ± 0.09 ^E	* 0.04 ± 0.03 ^B	13.93 ± 4.90 ^A	20.01 ± 0.76 _{ABC}
Valor de P	0	0	0	0.2392	0.0003
Cebada	7.29 ± 0.76 ^{CD}	0.2 ± 0.07 ^E	0.02 ± 0.006 ^B	12.36 ± 1.54 ^A	20.37 ± 1.47 _{AB}

Valores promedio, ± desviación estándar, obtenidos a partir de muestras liofilizada de *P. djamor*, con una *n* = 3. En rojo se indican los valores más altos de cada parámetro. Valor estadístico de *p* = 0.000. Se indica con * los tratamientos que tuvieron una diferencia estadísticamente significativa a la media del control : mg AG/g: mg de equivalente de ácido gálico/g de muestra; mg RU/g: mg de equivalente de rutina/g de muestra; mg EC/g: mg de equivalente de (+)-catequina/g de muestra; mg Trolox/g: mg de equivalente de Trolox/g de muestra.

Los flavonoides al igual que los compuestos fenólicos se producen por el metabolismo secundario que pertenecen a los compuestos polifenólicos más abundantes que este compuesto por anillos de seis átomos de carbono que están

unidos a un tercer ciclo, con diversas funciones como ayudan a fortalecer el sistema inmunológico, regulan la presión arterial, controlar los niveles de colesterol y promover el metabolismo (Vargas, 2023).

El análisis de varianza en el contenido de flavonoides (mg RU/g) se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ en todos los tratamientos son significativamente diferentes de cebada, donde, se muestra en la tabla 7, el tratamiento con Cascarilla de Café 4:10 presentó el mayor contenido de flavonoides (2.53 ± 1.27 mg RU/g), seguido por Jitomate 2:10 con un valor equivalente de rutina ER/g de muestra de (2.06 ± 1.15 mg RU/g) y Jitomate 8:10 (1.85 ± 1.12 mg RU/g). En contraste, los tratamientos de Coco en todas sus concentraciones mostraron los menores valores, siendo el más bajo Coco sin diluir (0.004 ± 0.11 mg RU/g). Esto indica que la cascarrilla de café y el jitomate son fuentes más ricas en flavonoides en comparación con el coco. En la producción con paja los resultados de flavonoides obtuvieron resultados de 1.92 µg/mg (Del Moral, 2021).

Los taninos son compuestos polifenólicos solubles en agua, con un peso molecular elevado y una notable capacidad para unirse a proteínas por la abundancia de grupos hidroxilo fenólicos en su estructura. Los taninos se dividen en dos categorías principales: TH y TC. Los que son TH poseen una estructura compleja formada por un núcleo central de poliol, como glucosa, glucitol, ácido quínico, quercitol o ácido shikímico, el cual está parcial o totalmente esterificado con grupos fenólicos, como el ácido gálico. La hidrólisis de los TH puede llevarse a cabo mediante ácidos, bases o enzimas como las esterasas, liberando así el poliol y los ácidos fenólicos que los componen (Espinoza, 2021).

El análisis de varianza en el contenido de taninos (mg EC/g) se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ en los tratamientos de fibra de coco y cascarrilla de café son significativamente diferentes de cebada, donde, se muestra en la tabla 7, el tratamiento con Jitomate 8:10 presentó el mayor contenido de taninos (0.06 ± 0.013 mg EC/g), seguido por Cascarilla de Café sin diluir (0.04 ± 0.03 mg EC/g) y Jitomate 4:10 (0.04 ± 0.017 mg EC/g). Los tratamientos de Coco y Cebada mostraron los menores contenidos, sin diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que el jitomate y la cascarrilla de café son fuentes más efectivas para la extracción de taninos.

Moreno (2023) hace mención que la capacidad antioxidante se asocia a la reducción de enfermedades con estrés oxidativo, donde la prueba de DPPH es una técnica para que puede cuantificar la actividad antioxidante total y bloqueadora del radical libre DPPH (Vargas, 2023), El análisis de varianza en el contenido de inhibición DPPH (mg Trolox/g) se obtuvieron valores estadísticos de $p=<0.05$ solo en los tratamientos de fibra de coco y cascarrilla de café que son significativamente diferentes de cebada, donde, se muestra en la tabla 7 la inhibición DPPH, el tratamiento con Cascarilla de Café 8:10 presentó la mayor capacidad antioxidante (21.08 ± 3.44 mg Trolox/g), seguido por Cebada (20.37 ± 1.47 mg Trolox/g) y Jitomate 8:10 (20.35 ± 0.97 mg Trolox/g). Los tratamientos de Coco mostraron los

menores valores, siendo el más bajo Coco 6:10 (17.47 ± 1.24 mg Trolox/g). Esto indica que la cascarilla de café y la cebada son más efectivas en la captación de radicales libres medidas por DPPH. Vega (2022) en el residuo de obtuvo un resultado de DPPH 0.266 mMTE/g de mazorca de maíz.

Por otro lado, otra técnica para cuantificar la actividad antioxidante es la de Inhibición ABTS (mg Trolox/g), donde los resultados que obtuvimos de las muestras de la tabla 7 no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, todos los tratamientos presentaron valores similares, con un rango de (11.36 ± 1.13 mg Trolox/g) coco 6:10 a (17.65 ± 13.92 mg Trolox/g) cascarilla de café 2:10. La alta desviación estándar en algunos tratamientos, como cascarilla de café 2:10, sugiere una variabilidad intrínseca en la medición de esta propiedad. En el análisis de ABTS Vega (2022), obtuvo el resultado más alto de 0.609 mMTE/g que corresponde al residuo de pulpa de café y mazorca de maíz 1:1.

Medición de color

En la tabla , se muestran valores expresados en unidades L* a* b* del estudio de colorimetría realizado en *P. djamor* cultivado en diferentes sustratos y a diferentes proporciones de fibra de coco, poda de jitomate, cascarilla de café y cebada como control, donde L* representa la luminosidad donde 0=negro, 100= blanco; a* representa el eje rojo-verde donde los valores positivos= rojo, negativos= verde; b* representa el eje amarillo- azul donde los valores positivos es amarillo, negativo= azul (Zawadzka, et al., 2022).

En cuanto a la luminosidad L* los resultados variaron entre fibra de coco 100% (78.38 ± 0.56) y cascarilla de café 2:10 (81.35 ± 0.87). Los valores más altos de L* indican que los hongos cultivados en fibra de coco tienden a ser más claros. Por otro lado, los tratamientos con y cascarilla de café mostraron una luminosidad ligeramente menor, está relacionado con la presencia de pigmentos naturales en el sustrato. El componente a* los que tienden a ser más rojizos con cascarilla de café 100% (13.00 ± 0.76) y los valores positivos indican una tendencia hacia el rojo, lo que sugiere que los hongos cultivados en fibra de coco y jitomate tienen un tono más rojizo en comparación con los cultivados en cascarilla de café y cebada. El componente b* mostró valores relativamente estables, oscilando entre cascarilla de café 2:10 (27.57 ± 1.84) y Coco 2:10 (30.4366 ± 0.78). Los valores positivos indican una tendencia hacia el amarillo, lo que sugiere que todos los tratamientos produjeron hongos con un tono amarillento.

Tabla 8. Medición de color en valores expresadas en unidades L^* a^* b^* de *P. djamor*

Tratamiento	L^*	a^*	b^*	Paleta de color RAL
Coco 2:10	73.176± 2.18	10.76±2.95	30.4366±0.78	
Coco 4:10	72.637±1.22	11.763±2.67	29.713±1.38	
Coco 6:10	69.97±9.03	7.95±4.35	30.41±0.7	
Coco 8:10	69.59±8.71	9.81±2.18	28.83±1.14	
Coco	78.38±0.56	7.71±2.02	28.29±0.76	
Jitomate 2:10	72.26±5.75	12.91±3.45	29.23±0.54	
Jitomate 4:10	77.59±3.51	8.94±4.43	28.78±0.91	
Jitomate 6:10	75.62±4.82	9.04±1.02	28.60±1.29	
Jitomate 8:10	64.75±3.01	12.81±4.27	29.61±0.55	
Jitomate	74.98±1.79	9.98±1.65	28.01±1.05	
Cascarilla de Café 2:10	81.35±0.87	5.57±1.68	27.57±1.84	
Cascarilla de Café 4:10	69.92±9.79	8.96±2.31	28.12±1.85	
Cascarilla de Café 6:10	66.87±9.94	9.92±0.63	28.71±1.65	
Cascarilla de Café 8:10	65.11±11.39	10.41±1.86	28.11±1.58	
Cascarilla de Café	70.57±2.56	13.00±0.76	28.38±2.24	
Cebada	75.59±2.11	10.86±1.35	28.46±0.887	

Los resultados son los valores de tres determinaciones y su desviación estándar donde L^* = luminosidad donde 0=negro y 100= blanco; a^* =el eje rojo-verde donde los valores positivos= rojo y los negativos= verde; b^* =el eje amarillo- azul donde los valores positivos es amarillo y negativo= azul (Zawadzka, et al., 2022).

La coloración de los hongos está estrechamente relacionada con la presencia de metabolitos secundarios, como carotenoides y compuestos fenólicos, que actúan como pigmentos naturales. Los resultados sugieren que los sustratos influyen en la producción de estos compuestos, lo que no solo afecta la apariencia del hongo, sino también su valor nutrimental y bioactivo (Zawadzka, et al., 2022). Los resultados del estudio de colorimetría confirman que los sustratos de coco, jitomate y cascarrilla de café influyen significativamente en la coloración de *P. djamor*, produciendo hongos con características visuales diferenciadas.

Cromatografía de Gases acoplado a masas de los cuerpos fructíferos

La cromatografía de gases es una técnica analítica que permite separar los componentes de una muestra mediante su vaporización, basándose en la distribución diferencial de los analitos con dos fases, la primera fase móvil gaseosa y la segunda fase estacionaria líquida contenida en una columna. Durante el proceso, el gas inerte transporta los compuestos a través de la columna sin interactuar químicamente con ellos. La fase estacionaria consiste en un líquido de alta estabilidad térmica adsorbido sobre un soporte sólido inerte, formando una película delgada. La cromatografía de gases tiene limitaciones, ya que solo es aplicable a sustancias volátiles o que puedan vaporizarse bajo las condiciones de análisis, lo que impide el estudio directo de iones metálicos o compuestos orgánicos complejos como aminoácidos, carbohidratos y ácidos grasos, a menos que se sometan previamente a derivatización como la esterificación para aumentar su volatilidad (Sanchez, 2022).

Metabolitos secundarios

La cromatografía de gases identificó alrededor de 170 compuestos del extracto de *P. djamor* en diferentes sustratos y en diferentes concentraciones, de los cuales los metabolitos secundarios principales identificaron los de la tabla 9, como el D-Sorbitol, β-D-Allopyranose y D-(+)-Trehalosa, se repiten en casi todos los tratamientos, lo que sugiere su presencia común en estos materiales orgánicos. Sin embargo, hay metabolitos únicos según el tratamiento, como el Octadec-9Z en la fibra de coco, el ácido linoleico en la cascarrilla de café y varios aminoácidos y ácidos orgánicos en la cebada, lo cual destaca la diversidad química específica de cada tratamiento. Esto podría relacionarse con las propiedades y posibles aplicaciones de cada material en diferentes contextos.

Tabla 9. Caracterización de extracto *P. djamor* por GC-MS

Trat	Pct Total	RT	Library/ID	Ref	CAS	Qual
Fibra de coco	22.022	19.1911	D-Sorbitol	238497	019126-99-9	94
	6.781	20.0368	β-D-Allopyranose	241433	014317-07-8	93
	9.108	35.5624	D-(+)-Trehalose	238531	001769-00-2	83
	8.332	6.7879	Silanol	156827	010497-05-9	98
	17.113	19.1477	D-Mannitol	241429	014317-07-8	93
	14.034	19.9826	Glucopyranose	238472	1000157-49-7	95
	21.237	36.8961	Octadec-9Z	177068	078695-25-7	70
	7.103	19.2128	d-Galactose	240058	128705-71-5	91
PO da	15.498	19.1803	D-Sorbitol	241428	1000380-14-5	91

	14.052	20.0693	β -D-Allopyranose	238491	1000380-16-2	95
	11.508	35.5624	D-(+)-Trehalose	243740	1000380-43-8	83
	8.319	18.5405	Glucopyranose	238497	019126-99-9	94
	6.257	19.2236	d-Galactose	240058	128705-71-5	91
	4.25	6.842	Silanol	156827	010497-05-9	98
	0.108	16.9358	Glucopyranose	220072	055400-21-0	83
	20.475	19.1803	D-Mannitol	241433	014317-07-8	70
Cascarilla de café	12.492	20.0475	β -D-Allopyranose	238491	1000380-16-2	93
	8.336	35.5515	D-(+)-Trehalose	243740	1000380-43-8	93
	6.229	6.8528	Silanol	156828	010497-05-9	86
	17.578	19.1802	D-Sorbitol	241428	1000380-14-5	90
	3.082	20.0041	Glucopyranose	238497	019126-99-9	94
	3.559	23.3868	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)	185394	056259-07-5	99
Cebada	2.932	5.7688	L-Valine	111226	007364-44-5	70
	4.417	6.7771	N,O-Bis	123192	015984-97-1	78
	3.915	6.8422	Silanol	156828	010497-05-9	93
	0.77	7.4493	Butanedioic acid	111785	040309-57-7	98
	2.126	13.4666	Glutamic acid	192334	015985-07-6	99
	1.486	16.2205	Phosphoric acid	229091	031038-11-6	94
	5.743	18.5298	β -D-Allopyranose	238491	1000380-16-2	95
	12.302	19.1912	D-Sorbitol	241428	1000380-14-5	91
	3.531	19.2779	Sedoheptulose	242492	1000298-66-2	91
	1.405	20.5248	Hexadecanoic acid	167694	055520-89-3	99
	3.618	23.4304	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-	185394	056259-07-5	99
	6.362	35.5626	D-(+)-Trehalose	243740	1000380-43-8	93
	2.08	39.2163	Silane	230814	002625-45-8	76

La tabla 9 son los metabolitos más abundantes en todos los tratamientos como fibra de coco, poda de jitomate, cascarrilla de café y cebada, esta presenta una lista de los metabolitos más prevalentes en los diferentes tratamientos analizados. El análisis de masas de los metabolitos secundarios en los diferentes sustratos muestra que algunos compuestos se repiten en más de un tipo de sustrato, lo que sugiere que ciertos metabolitos secundarios son sintetizados o retenidos de manera constante, independientemente del material de origen y los metabolitos específicos para cada tratamiento son:

- Fibra de coco:
 - Octadec-9Z (ácido graso)
- Cascarilla de café:
 - 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z) (ácido linoleico)
- Cebada
 - L-Valina (aminoácido)
 - Butanedioic acid (ácido succínico)
 - Glutamic acid (aminoácido)
 - Phosphoric acid (ácido fosfórico)
 - Sedoheptulosa (azúcar)
 - Hexadecanoic acid (ácido palmítico)
 - Silano (compuesto orgánico-silicio)

Los resultados de este estudio indican que el análisis mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas del extracto de *P. djamor* en los distintos tratamientos permitió identificar compuestos bioactivos con propiedades terapéuticas significativas. Entre ellos, el ácido decanoico destaca por su acción antifúngica, antibacteriana y antioxidante; el octadecano posee efectos antibacterianos y antifúngicos, además de propiedades antiinflamatorias, desintoxicantes, antitusivas y antisépticas. Por su parte, el ácido hexadecanoico presenta actividad antiinflamatoria y antifúngica, mientras que el 9-ácido octadecanoico exhibe propiedades antimicrobianas. (Keke, 2023).

En la fibra de coco se identificó exclusivamente la presencia de ácido octadecanoico, un tipo de ácido esteárico previamente detectado en *Moringa oleífera*, conocido por su potencial efecto hipolipidémico. Se ha sugerido que esta propiedad podría estar relacionada con su capacidad para inhibir la enzima 5-alfa reductasa, lo que a su vez podría bloquear la actividad de la HMG-CoA reductasa, una enzima fundamental en la biosíntesis del colesterol. Además, se encontraron otros compuestos como el metil-11-octadecenoato y el metil undecanoato, los cuales han demostrado actividad inhibitoria contra ciertas cepas bacterianas, incluidas bacterias intestinales. En particular, estos compuestos han mostrado eficacia en la reducción de los niveles de colesterol y triglicéridos. (Osheku, 2024).

El hongo tubérculo rey, *Pleurotus tuber-regium*, es ampliamente utilizado en la medicina tradicional, donde sus esclerocios se emplean para tratar diversos problemas de salud. Mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, se identificaron compuestos bioactivos como el ácido n-hexadecanoico, ácido oleico, 10-octadecenal, ácido palmitoleico, 9,17-octadecadienal-(Z), 11-octadecenoico y su éster metílico-(Z). Estas sustancias han sido asociadas con propiedades terapéuticas, incluyendo el tratamiento de la hipertensión, la diabetes, el asma, la fiebre y el cáncer, lo que las hace potencialmente beneficiosas para la salud. Asimismo, los compuestos Octadec-9Z y 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z) también han sido detectados en semillas de granada (*Punica granatum L.*), aunque en una concentración inferior al 10%. Dado que las semillas de granada son subproductos de la industria del jugo y otros derivados, su aceite se considera un

recurso valioso con aplicaciones potenciales. Sin embargo, la composición de ácidos grasos puede variar según la variedad de la fruta y los métodos de extracción empleados. En comparación, estos ácidos grasos se encuentran en mayor proporción en la fibra de coco y la cascarilla de café respecto a nuestra investigación (Morán, 2017).

La detección de compuestos compartidos entre diferentes sustratos indica que ciertos metabolitos secundarios podrían originarse a través de rutas metabólicas comunes, mientras que otros, más específicos, estarían determinados por la composición química del sustrato. Estos resultados podrían ser clave para elegir los sustratos más adecuados en la producción de lípidos con aplicaciones biotecnológicas e industriales. Además, destacan la importancia del potencial terapéutico de estos compuestos en la regulación de los niveles de colesterol y triglicéridos, lo que los convierte en una opción prometedora para el tratamiento del síndrome metabólico.

Ácidos grasos

Los ácidos grasos son moléculas lipídicas orgánicas que son compuestas por una cadena hidrocarbonada con un número par de átomos de carbono y un grupo carboxilo terminal. Estos átomos se conectan mediante enlaces covalentes simples o dobles. Las principales fuentes de ácidos grasos esenciales son los aceites vegetales y algunas semillas. Además, compuestos como el ácido linoleico funcionan como los precursores de metabolitos con funciones biológicas esenciales (Sánchez, 2022).

Tabla 10. Cuantificación de extracto de ácidos grasos *P. djamor* por GC-MS

Trat	Tiempo de retención	Área	Ácido graso	Referencia	CAS	Qual	Concentración ($\mu\text{g}/\text{mg}$)
Fibra de coco	9.489	5965055	Dimethyl fumarate	20601	000624-49-7	93	NQ
	10.192	11347672	Butanedioic acid	21830	000106-65-0	86	1.87292502
	13.003	28885565	Pentadecanoic acid	107593	007132-64-1	98	11.6220217
	14.026	335237711	Hexadecanoic acid	119407	000112-39-0	98	223.356634
	17.349	109161176	9-Octadecenoic acid (Z)	141302	000112-62-9	99	279.737409
	18.672	819229787	9,12-Octadecadienoic acid	139708	002462-85-3	99	880.163983
Poda de jitomate	28.738	3541360	Methyl 9.cis	138094	1000336-42-6	95	NQ
	9.495	2732863	Dimethyl fumarate	20601	000624-49-7	90	NQ
	10.198	12496167	Butanedioic acid	21830	000106-65-0	90	2.36297578
	12.996	12639276	Pentadecanoic acid	107593	007132-64-1	98	3.36493361
	13.029	21826448	Pentadecanoic acid	107593	007132-64-1	96	8.02119791

Cascarilla de café	14.034	381010371	Hexadecanoic acid	119400	000112-39-0	99	254.284414
	16.613	6468568	Methyl stearate	143126	000112-61-8	98	NQ
	16.695	5095793	Heptadecanoic acid	143190	005129-61-3	97	NQ
	17.389	154675768	9-Octadecenoic acid (Z)-	141302	000112-62-9	99	398.87495
	18.685	904960345	9,12-Octadecadienoic acid	139708	002462-85-3	99	970.563189
	28.631	1640619	Methyl 6-cis,9-cis	138078	1000336-37-7	70	NQ
	28.704	2572309	Methyl 9.cis.	138094	1000336-42-6	96	NQ
	28.817	3606347	Methyl 9.cis.	138094	1000336-42-6	70	NQ
	29.259	10310736	Methyl 9.cis.	138094	1000336-42-6	99	NQ
	29.327	1907755	Methyl 9.cis.	138094	1000336-42-6	98	NQ
	9.766	5323242	1-Tridecene	47263	002437-56-1	70	NQ
	10.2	14493302	Butanedioic acid	21828	000106-65-0	90	3.24093684
	13.017	17142609	Pentadecanoic acid	107593	007132-64-1	98	5.68120746
	13.071	16430171	Pentadecanoic acid	107593	007132-64-1	98	5.31796146
	14.061	402582410	Pentadecanoic acid, 14-methyl-	119423	005129-60-2	98	202.202819
	16.714	32846756	Methyl stearate	143131	000112-61-8	97	6.2822596
	16.848	13611617	Methyl stearate	143126	000112-61-8	98	NQ
	17.394	91591109	9-Octadecenoic acid (Z)-	141302	000112-62-9	99	234.373594
	17.453	95991146	9-Octadecenoic acid (Z)-	141302	000112-62-9	99	246.01418
	18.735	1193374125	9,12-Octadecadienoic acid	139708	002462-85-3	99	1288.25335
Cebada	9.339	17433854	Eicosane	129491	000112-95-8	91	36.0421328
	10.21	15535172	Butanedioic acid	21828	000106-65-0	86	3.69155725
	10.651	28538589	Undecanoic acid, 10-methyl-	72721	005129-56-6	60	8.60776436
	12.19	15028980	Methyl tetradecanoate	95859	000124-10-7	86	3.47262356
	13.065	110796383	Pentadecanoic acid	107593	007132-64-1	98	53.4318303
	14.078	331872298	Hexadecanoic acid	119407	000112-39-0	98	221.929622
	14.11	473770973	Hexadecanoic acid	119400	000112-39-0	99	319.768173
	15.761	6245913	Nonanedioic acid	73861	001732-10-1	70	NQ
	16.689	5435571	Heptadecanoic acid, 16-methyl-	143190	005129-61-3	95	NQ
	17.438	163774532	9-Octadecenoic acid (Z)-	141302	000112-62-9	99	425.339577
	18.78	1161826462	9,12-Octadecadienoic acid	139708	002462-85-3	99	1254.14032

En la tabla 10 muestra el análisis de la composición de ácidos grasos en los diferentes sustratos muestra que algunos compuestos abundantes más de un tipo de sustrato, lo que sugiere que ciertos ácidos grasos son sintetizados o retenidos

de manera constante, independientemente del material de origen. Entre los compuestos recurrentes se encuentran los ácidos grasos identificados en diferentes sustratos: fibra de coco, poda de jitomate, cascarilla de café y cebada. Algunos compuestos, como el ácido hexadecanoico y el ácido 9,12-octadecadienoico (ácido linoleico), se repiten en varios sustratos, indicando su presencia común y potencial relevancia bioquímica. Sin embargo, cada sustrato tiene metabolitos únicos que pueden estar relacionados con las características específicas de cada material. Esto podría influir en su uso potencial en la industria alimentaria, farmacéutica o agrícola.

Metabolitos únicos de cada sustrato:

- Cascarilla de café:
 - 1-Tridecene
- Cebada:
 - Eicosane
 - Undecanoic acid, 10-methyl-
 - Nonanedioic acid

Los resultados de este estudio indican que el análisis mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) del extracto de *P. djamor* permitió identificar la presencia de ácidos grasos con propiedades terapéuticas otros compuestos también se encontraron dentro de los metabolitos secundarios que son mencionados anteriormente. Un ejemplo destacado es el dimetilfumarato, un éster del ácido fumárico que se encuentra en la planta *Fumaria officinalis*. Tradicionalmente, esta hierba ha sido utilizada en el tratamiento de diversas afecciones, como enfermedades de la piel, reumatismo, arteriosclerosis, estreñimiento y cistitis. Además, el dimetilfumarato ha sido aprobado como fármaco con efectos antioxidantes y antiinflamatorios para tratar la esclerosis múltiple y la psoriasis. Recientes investigaciones han señalado, además, su potencial en el tratamiento de otras enfermedades inflamatorias y ciertos tipos de cáncer (Majkutewicz, 2022).

Estos resultados sugieren que, a pesar de la variabilidad en los sustratos, ciertos ácidos grasos son recurrentes, lo que podría indicar una regulación metabólica conservada en los microorganismos involucrados en la degradación del material orgánico. La presencia de compuestos comunes en distintos sustratos sugiere que algunos ácidos grasos pueden ser generados a partir de rutas metabólicas universales, mientras que otros compuestos más específicos podrían depender de la naturaleza química del sustrato.

Capítulo V

X. Conclusión

Los resultados de este estudio confirman la hipótesis de que el uso de sustratos alternativos como la cascarilla de café, la fibra de coco y los residuos de poda de jitomate mejora significativamente la calidad nutrimental y la producción de metabolitos secundarios en *P. djamor* en comparación con el sustrato tradicional de cebada. Los hongos cultivados en estos sustratos mostraron un mayor contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos, así como una mayor diversidad y abundancia de metabolitos secundarios, incluyendo ácidos grasos esenciales y azúcares. Estos hallazgos sugieren que los sustratos agroindustriales no solo son viables para la producción de *P. djamor*, sino que también pueden optimizar su valor nutrimental y bioactivo, lo que los convierte en una alternativa prometedora para aplicaciones en la industria alimentaria.

XI. Bibliografía

- Agroindustria en México | Fideicomiso de Riesgo Compartido | Gobierno | gob.mx.*
(n.d.). Recuperado en diciembre 12, 2023, from
<https://www.gob.mx/firco/articulos/agroindustria-en-mexico>
- Aguilar Yaguana, J. J. (2020). Aprovechamiento de residuos de chocho como sustrato para la obtención de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus*. *Ingeniero En Biotecnología Ambiental*.
- Aguinaga Bósquez, P. N. (2012). *Evaluación de cuatro sustratos para la producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en tres ciclos de producción en la zona de Tambillo, provincia de Pichincha*.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4663>
- Alejandra, N., Valentina, M., & Ferro, C. (n.d.). Obtención de azúcares fermentables vía hidrólisis subcrítica a partir de la cascarilla de café en una unidad de Laboratorio Batch. *Revistas.Utm.Edu.Ec*. Recuperado en mayo 9, 2023, from
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/download/1870/2084>
- Aleman Molina, C. M. (2016). Aprovechamiento de residuos de coco y almendra de la empresa aceitera “Veggi Spirit” para la elaboración de compost.
- Amor Andrea Verónica. (2021). *Características generales de los hongos* (Vol. 1).
- Antonio, C. G., Romero, L. A. R., Trejo, J. F. G., & Pérez, A. A. F. (2021). Revalorización de residuos del cultivo de café: Rumbo a una economía circular. *Digital Ciencia@ UAQRO*, 14(1), 71-79.
- Astete, J., & Elyzabeth, R. (2021). Validación de la metodología para la determinación de Lignina celulosa y Hemicelulosa por espectroscopia infrarroja en árboles.
- Atehortúa, M., & Medina, D. (2016). Residuos agroindustriales en la formulación de sustratos para la producción de hongos comestibles. *Revista Tumbaga*, 1(11).
- Benavides, O. (2013). *Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para el cultivo de orellanas (*Pleurotus ostreatus*)*.
<https://biblioteca.udesar.edu.co/atenea/89544.pdf>
- Bermúdez Savón, R. C., García Oduardo, N., Álvarez Céspedes, L. M., Serrano Alberni, M., & Plana Pérez, L. (2020). Utilización de cáscara (fibra) de coco para el cultivo de setas comestibles-medicinales de interés comercial. *Tecnología Química*, 40(2), 260-268.
- Caiza, L. M. F., Insuasti, J. P., Trujillo, A. S. D., Soto, C. P., & Arroyave, C. A. P. S. (2020). Obtención de cepas puras de *Pleurotus djamor*. *Revista Biorrefinería* Vol, 3(3).

- Cano-Estrada, A., & Romero-Bautista, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutricion*, 43(1). <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100011>
- Castellanos, A. J., & Ordóñez Giraldo, A. L. (2010). Análisis bromatológico, ácidos grasos y esteroles mayoritarios del hongo silvestre *Cantharellus Lateritius Var. Colombianus rh petersen* del Alto de Daza (Nariño).
- CASTRO, E. L., curp, & LOCE801107MDFPSS07. (2017). *Desarrollo de un material biodegradable mediante el uso de residuos agricolas de la produccion del jitomate bajo invernadero*. <https://ri-ng.uag.mx/handle/123456789/1146>
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2021). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Cordoba*, 27(1). <https://doi.org/10.21897/RMVZ.2246>
- Chichanda, B., Destin, J. E., & Roosevelt, P. (2021). *Tratamiento de aguas residuales provenientes del camal municipal del cantón Balzar mediante filtro de fibra de coco (cocos nucifera)*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/57484>
- Ciappini, M. C., Gatti, M. B., & López Zamora, M. L. (2004). Pleurotus Ostreatus, una opción en el menú: estudio sobre las gírgolas en la dieta diaria. *Invenio: Revista de Investigación Académica*, ISSN-e 0329-3475, N°. 12, 2004, Págs. 127-132, 12.
- Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 59-72.
- Cortez Briones, G. M., & Moreira Zambrano, G. D. (2020). *Estudio comparativo de la actividad antioxidante, composición proximal y nutricional del Pleurotus djamor con Ganoderma applanatum, Ganoderma lucidum, Ganoderma multiplicatum y Ganoderma oerstedii* [Universidad de Guayaquil.]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50982>
- Cruz, D. (2020). Producción y valor proteico de Pleurotus ostreatus en la región sur de Ecuador: Valor proteico de Pleurotus ostreatus. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 12(2), 7-7.
- Cruz-Moreno, B. A., Pérez, A. A. F., García-Trejo, J. F., Pérez-García, S. A., & Gutiérrez-Antonio, C. (2023). Identificación de metabolitos secundarios de interés en Pleurotus djamor utilizando bagazo de Agave tequilana. *Moléculas.*, 28(2), 557.
- Del Moral-Hernández, A., Lozada-García, J. A., Carmona-Hernández, O., & Barrientos-Salcedo, C. (2021). Metabolitos bioactivos en Pleurotus spp. y su potencial como alimento funcional. *Jornal CIM*, 9(1).

- Diaz Beltran, C. (2022). *Fabricación de papel como aprovechamiento de residuos provenientes del café (pulpa y celulosa) en el municipio de Villarrica-Tolima.* <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/9089>
- Dominguez Ruiz y Gabriela de Jesús. (2021). *Obtención de biopolímeros de interés industrial mediante la transformación de residuos lignocelulósicos y ligninas residuales por Streptomyces* [Universidad de Alcalá]. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/51107>
- DONADO PARADA, T. V. (2014). *EVALUACIÓN DE TRES SUSTRATOS PARA LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (Pleurotus ostreatus).* <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/17/Donado-Tania.pdf>
- Espinoza-Velasco, B., & Mella, M. R. (2021). Interacción entre taninos vegetales, microbiota ruminal y metabolismo rumiante. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 25(1).
- Flecha Rivas, A., De Madrignac, B., & Campi, M. (2021). El género Pleurotus (Pleurotaceae-Basidiomycota) en Paraguay. *Steviana*, 6. <https://doi.org/10.56152/ffs.v6i.1272>
- Gómez Encino, J. L. (2023). *Función de producción: estudio de caso de la producción de café (Coffea arabica L.), en el municipio de La Concordia, Chiapas* (Doctoral dissertation). España-Rodríguez, M., Hernández-Domínguez, E. M., Lucio, B. S. V. De, Villa-García, M., & Álvarez-Cervantes, J. (2021). Productividad y análisis químico proximal de pleurotus spp. crecidos sobre bagazo de agave salmiana como sustrato alternativo. *Agrociencia*, 55(7). <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i7.2604>
- García, G. T. D. (2021). *Evaluación del cultivo de Psilocybe cubensis sobre diferentes sustratos lignocelulósicos.* www.uaem.mx/organizacio
- García-Vergara, Z., Paneque-Díaz, Y., Macías-González, A. A., & Rodríguez-Guerrero, D. de la C. (2022). Comparación de las propiedades antioxidantes del Pleurotus ostreatus antes y después de tratamientos térmicos. *Revista Científica Arbitrada de Investigación En Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*, 5(9). <https://doi.org/10.46296/rc.v5i9.0045>
- Gómez, F. (2003). Desnutrición. *Salud Pública de México*, 45, 576–582. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342003001000014&lng=es&nrm=iso&tlang=es
- Grass Ramírez, J. F. (2011). El enfoque de sistemas agroindustriales. *Políticas Públicas y Economía*.
- Guido, S. I. M., Garduño, L. F. M., Gómez, M. A. A., Ortiz, P. E., López, B. I. B., Ojeda, E. T., ... & Antonio, C. G. (2024). Revalorización sustentable de residuos agroindustriales de la producción de jitomate. Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología, 63-82.
- Gutiérrez-Antonio, C., De Lira-Flores, J. A., Quiroz-Pérez, E., & Martínez-Guido, S. I. (2020). Conversión de residuos agroindustriales para la generación de

biocombustibles, productos de valor agregado y bioenergía. Digital Ciencia@UAQRO, 13(1), 27-35.

Huayhua Colque, O. E. (2024). Rendimiento del cultivo de Pleurotus djamor (Rumph. ex Fr.) Boedijn en residuos lignocelulosicos en la región de Mdre de Dios.

Ibarra-Cantún, D., Ramos-Cassellis, M. E., Sánchez-Arzubide, M. G., Castelán-Vega, R. del C., & Marín-Castro, M. A. (2022). Compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de la fermentación en estado sólido de bagazo de manzana (*Malus domestica* Borkh., var. panohera). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2103

Keke, C. O., Nsofor, W. N., Kumabia, F. K. R., Iloabuchi, G. C., Ejiofor, J. C., & Osuagwu, O. L. (2023). Análisis por GCMS y FTIR de extractos de hojas de Urena lobata (herba César) con etanol y metanol para determinar componentes fitoquímicos bioactivos. Revista de Administración de Medicamentos y Terapéutica., 13(1), 99-115.

Kılıç, C. (2020). PRODUCTION OF PLEUROTUS OSTREATUS, PLEUROTUS CITRINOPILEATUS AND PLEUROTUS DJAMOR IN DIFFERENT CONTENTS AND SOME PHYSICAL ANALYSIS. *Wood Industry and Engineering*, 2(1), 17-23.

Li, H., Zhao, H., Gao, Z., Song, X., Wang, W., Yuan, F., Feng, Y., Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, S., & Jia, L. (2019). The antioxidant and anti-aging effects of acetylated mycelia polysaccharides from pleurotus djamor. *Molecules*, 24(15). <https://doi.org/10.3390/molecules24152698>

Macedo, H. R. (2022). *Producción de hongos comestibles "Pleurotus ostreatus" utilizando como sustrato los residuos agrícolas de cosecha en la Empresa Agro Industrial Paramonga SAA*. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18345>

Maity, G. N., Maity, P., Khatua, S., Acharya, K., Dalai, S., & Mondal, S. (2021). Características estructurales y actividad antioxidante de un nuevo galactoglucano del hongo comestible Pleurotus djamor. *Revista Internacional de Macromoléculas Biológicas.*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.131>

Majkutewicz, I. (2022). Dimetilfumarato: Revisión de la eficacia preclínica en modelos de enfermedades neurodegenerativas. *Revista Europea de Farmacología*, 926, 175025.

Martínez, J. (2012). CULTIVO DE Pleurotus ostreatus EN EL VALLE DE EL FUERTE, SINALOA: UNA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO DE ESQUILMOS AGRÍCOLAS. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA INDÍGENA DE MÉXICO*.

Mejías, N., Orozco, E., & Galáan, H. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México *Revista*

de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6).

Meléndez, M., García, A., & Ventura, N. (2020). Perspectivas e impacto en la salud del consumo de los alimentos funcionales y nutracéuticos en México. *Revista RD*, 1(1).

Meneses, Y. P. C., Bolaños, P. A., Ramírez, J. F. G., & Muñoz, R. C. (2024). Caracterización física, química, térmica y mecánica de fibras de coco de la Costa Pacífica del Cauca con potencial como refuerzo de materiales compuestos de matriz polimérica. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 22(2), 30-42.

Morán León, J. (2017). Evaluación de la suplementación de un microencapsulado del jugo de los arilos de granada roja (*Punica granatum L*) en pacientes con síndrome metabólico.

Moreno, B. A. C., CONACyT, C. C., & 855274. (2020). *Cultivo de Hongos comestibles Pleurotus djamor y Pleurotus ostreatus sobre sustrato de bagazo de Agave tequilana*. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1857>

Nayak, H., Kushwaha, A., Behera, P. C., Shahi, N. C., Kushwaha, K. P. S., Kumar, A., & Mishra, K. K. (2021). El hongo ostra rosado, *Pleurotus djamor* (Agaricomycetes): Un potente antioxidante e hipoglucemiante. *Revista Internacional de Hongos Medicinales*, 23(12).

<https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2021041411>

Nieto Juárez, J. I., Cuzcano Ruiz, A. D., & Reyes López, W. A. (2021). Evaluación del cultivo del hongo pleurotus ostreatus y de su composición nutricional en borra de café. *TECNIA*, 21(2). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1026>

Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en hongos comestibles silvestres. *Revista Checa de Ciencias de la Alimentación*, 32(3), 302-307.

Nora García-Oduardo, D. C., Rosa Catalina Bermúdez-Savón, D. C., & Migdalia Serrano-Alberni, L. (n.d.). *FORMULACIONES DE SUSTRADOS EN LA PRODUCCIÓN DE SETAS COMESTIBLES PLEUROTUS*: Vol. XXXI (Issue 3).

Odiase-Omoighe, JO, y Agoreyo, BO (2022). Identificación de compuestos bioactivos en extractos de esclerocios de *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Sing. mediante cromatografía de gases-espectrómetro de masas (GC-MS). *Revista Nigeriana de Biotecnología*, 38 (1), 39-50.

Ortiz García, J. E., González Morales, D. E., Mejía Agudelo, Y., García-Alzate, L. S., & Cifuentes-Wchima, X. (2020). Evaluación de la biomasa residual (cereza) de café como sustrato para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. *Revista ION*, 33(1). <https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020009>

Osheku, Z. I., Ogbonna, I. O., & Aguoru, C. U. (2024). Análisis de fitocompuestos en el extracto de hoja de *Moringa oleifera* mediante cromatografía de gases-espectroscopia de masas. *Métricas para la salud humana y halal*, 5(1), 9-16.

- Ozcariz Fermoselle, M. V. (2016). "Aprovechamiento de Residuos Agroforestales, con particular interés en los originados en explotaciones de Nuez Pecán (*Carya illinoiensis*), por medio del cultivo de Hongos Saprófitos Saludables Ibéricos. *Tesis*.
- Paredes Muñoz, B. S. (2024). Aprovechamiento de residuos de cascara de café para la obtención de material de construcción (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2024).
- Piña-Guzmán, A. B., Nieto-Monteros, D. A., & Robles-Martínez, F. (2016). UTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y AGROINDUSTRIALES EN EL CULTIVO Y PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE SETA (*Pleurotus spp.*). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(EspecialResiduosSolidos), 141–151.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.10>
- Roblero-Mejía, D. O., Aguilar-Marcelino, L., & Sánchez, J. E. (2021). Efecto de la variación del sustrato en la productividad de dos cepas de *Pleurotus spp.* *Scientia fungorum*, 52.
- Romero-Arenas, O., Martínez Guerrero, M. A., Damián Huato, M. A., Ramírez Valverde, B., & López-Olgún, J. F. (2017). Producción del hongo Shiitake (*Lentinula edodes Pegler*) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6).
<https://doi.org/10.29312/remexca.v6i6.569>
- Ruiloba, M. H., Vega, A., Franco, H., Solís, C., & Castillo, R. F. G. (2014). Efecto de la bio-degradación con cepas nativas de *Pleurotus djamor*, RN81 y RN82, sobre parámetros químicos y degradabilidad in situ de sustratos lignocelulósicos. *Revista Científica*, 24(5), 443-453.
- Salas Huamán, J. D. (2019). Productividad de *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) boedijn usando como sustratos cáscara de café y paja de arroz supplementados con maíz molido.
- Salmones, D. (2018). *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. *Scientia Fungorum*, 46.
<https://doi.org/10.33885/sf.2017.46.1177>
- Sánchez, F. E. (2022). Ácidos grasos en el liquen *psiloparmelia denotata* por cromatografía de gases.
- Sánchez, Royse. (2008). La biología , el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus spp* José E Sánchez y Daniel J . Royse editores. *Centro de Recursos Naturales Renovables de La Zona Semiárida*, 20(120).
- Sasidhara, R., y ThirunalaSundari, T. (2014). Fitoquímicos y potencial antioxidante de *Pleurotus djamor*. *Revista de Investigación Química y Farmacéutica*, 6(4).
- Saval, S. (2012). *Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro*. 16(2).

- Sigala Laguna, S. S., & Cruz Hernández, M. A. Evaluación del efecto de un extracto enzimático de amilasas en las características nutricionales de formulaciones de pan de trigo enriquecidas con *Pleurotus ostreatus*.
- Soriano Soto, M. D., García, F., & García-España, L. (2022). *RESIDUOS DE COCO. ARTE Y VERMICOMPOSTADO PARA SU REUTILIZACIÓN.* <https://doi.org/10.4995/egem2021.2021.14899>
- Sudha, G., Janardhanan, A., Moorthy, A., Chinnasamy, M., Gunasekaran, S., Thimmaraju, A., y Gopalan, J. (2016). Estudio comparativo de la actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de los cuerpos fructíferos del hongo comestible *Pleurotus djamor*. Ciencia y Biotecnología de los Alimentos, 25(2). <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0052-4>
- Süfer, Ö., Çelik, Z. D., y Bozok, F. (2022). Influencia de algunas plantas aromáticas en los compuestos volátiles y la bioactividad de *Pleurotus citrinopileatus* y *Pleurotus djamor* cultivados. Química y biodiversidad., 19(12). <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200462>
- Tapia Solís, M. Efecto de diferentes sustratos de zonas semiáridas de Coahuila en la producción de enzimas celulolíticas de *pleurotus ostreatus*.
- Tipán Pozo, C. V. (2016). *Evaluación del crecimiento del hongo Pleurotus ostreatus con el uso de un sustrato de rastrojo de maíz con composición variable de papel.*
- Torrado, R. D. P. M., Torrado, H. D. S., Santana, N. A. S., & Angarita, J. Y. M. (2021). Estudio de la mezcla de concreto con los residuos de la cascarilla del café. Formación Estratégica, 3(01), 115-129.
- Torres-Martínez, B. del M., Vargas-Sánchez, R. D., Torrescano-Urrutia, G. R., Esqueda, M. C., Rodríguez-Carpena, J. G., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. Á., & Sánchez-Escalante, A. (2023). Propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y antioxidantes de harinas de *Pleurotus* spp. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 26. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.595>
- Valera López, A. (2019). Rendimiento del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* cultivado en diferentes sustratos a base de residuos agroindustriales de la ciudad de Tacna. In *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3728>
- Vargas Rios, M. (2023). Caracterización química proximal y evaluación antioxidante de los hongos comestibles silvestres *Laccaria laccata*, *Hypomyces lactifluorum*, *Ganoderma brownii* y *Ramaria* sp., provenientes de San Mateo Rio Hondo, Oaxaca.
- Vargas, y Pérez, L. (2018). APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1).
- Vega, A., De León, J. A., Miranda, S., & Reyes, S. M. (2022). Los residuos agroindustriales mejoran el perfil nutricional y antioxidante de *Pleurotus*

djamor. Sistemas de gestión de residuos más limpios, 2.
<https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018>

Vega, O. 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.*
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57781/52888760.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vela Hernández, M., & Ramírez Vargas, A. (2015). Caracterización proteica del hongo comestible Pleurotus ostreatus en cultivo con fines nutricionales. In *Exploraciones, intercambios y relaciones entre el diseño y la tecnología.*
<https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>

Villar, L. (2021). Sustratos provenientes de residuos agrícolas en la producción del hongo comestible Pleurotus djamor (Fr.) Boedijn EN TINGO MARÍA. In Facultad De Zootecnia. In *Facultad De Zootecnia*.

Zawadzka A, Janczewska A, Kobus-Cisowska J, Dziedziński M, Siwulski M, Czarniecka-Skubina E, et al. (2022) El efecto de las condiciones de luz sobre el contenido de ingredientes activos seleccionados en partes anatómicas del hongo ostra (Pleurotus ostreatus L.). MÁS UNO 17(1): e0262279.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262279>

Zhang, J., Liu, M., Yang, Y., Lin, L., Xu, N., Zhao, H., & Jia, L. (2016). Purificación, caracterización y actividad hepatoprotectora de polisacáridos de zinc micelial de Pleurotus djamor. Polímeros de carbohidratos, 136.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.075>

Zhou, Y., Chu, M., Ahmadi, F., Agar, OT, Barrow, CJ, Dunshea, FR y Suleria, HA (2024). Una revisión exhaustiva del perfil fitoquímico en hongos: presencia, actividades biológicas, aplicaciones y perspectivas futuras. Food Reviews International , 40 (3), 924-951.