



EDITORIAL
NAVEGANTE



PRODUCCIÓN DE *Pleurotus Ostreatus* A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ

Pedro José Fragoso Castilla



Pedro José Fragozo Castilla

Correo: pedrofragozo@unicesar.edu.co

Perfil: Doctor en Medicina Tropical. Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3437-8664>

Afiliación: Grupo de Investigación Parasitología Agroecología Milenio,
Programa de Microbiología - Universidad Popular del Cesar.

PRODUCCIÓN DE *Pleurotus Ostreatus*
A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ

Pedro José Fragoso Castilla



EDITORIAL
NAVEGANTE

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego de pares externos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



ISBN: 978-628-7736-20-7

© Pedro José Fragoso Castilla

2024

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14026370>

©Editorial Navegante

www.editorialnavegante.com

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Diseño de carátula y composición: Editorial Navegante

Edición electrónica: Editorial Navegante

Editado en Colombia/ *Published in Colombia*

PRODUCCIÓN DE *Pleurotus Ostreatus*
A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ

Pedro José Fragoso Castilla



EDITORIAL
NAVEGANTE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	10
--------------------	----

CAPÍTULO I

LA PRODUCCIÓN DE ARROZ Y SUS CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES	14
--	----

1.1. Proceso de producción de arroz	14
1.2. Producción de arroz en América Latina y Colombia	17
1.3. Demanda de la producción de arroz en Colombia	22
1.4. Residuos generados durante la producción de arroz y sus consecuencias	25
1.5. Producción de proteína unicelular como método sostenible para producir alimentos ricos en proteínas.....	29

CAPÍTULO II

HONGOS COMESTIBLES: PLEUROTUS OSTREATUS.....34

2.1. Definición e importancia de los hongos comestibles.....34

2.2. Pleurotus ostreatus38

2.2.1. Descripción macroscópica38

2.2.2. Esporada, química y microscopia.....41

2.2.3. Contenido nutricional46

2.2.4. Técnicas de cultivo49

2.3. La cascarilla de arroz y el Pleurotus ostreatus52

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y RESULTADOS55

3.1. Aspectos metodológicos.....55

3.2. Hallazgos.....59

3.3. Discusión de resultados34

3.4. Conclusiones.....66

REFLEXIONES FINALES.....68

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de la producción de arroz en Chile y Colombia .	18
Tabla 2 Producción de arroz en Colombia por departamento (2021)....	19
Tabla 3 Demanda, producción, importaciones, disponibilidad interna y generación estimada de cascarilla de arroz en Colombia y Chile	24
Tabla 4 Composición de los residuos del arroz.....	26
Tabla 5 Composición de las emisiones generadas por la quema de paja de arroz (base masa seca)	27
Tabla 6 Análisis elemental de la paja, hojas y cascarilla de arroz (% peso seco).....	28
Tabla 7 Comparación de características nutricionales (% base seca)	31
Tabla 8 Composición bioquímica de algunas microalgas comestibles marinas y de agua dulce	31
Tabla 9 Costos de producción por kilogramo de biomasa	32
Tabla 10 Análisis proximal de la cascarilla de arroz (Oryza sativa)	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Area sembrada de arroz mecanizado por departamentos para primer semestre de 2021	20
Figura 2 Producción de arroz en América Latina	21
Figura 3 Rendimiento de arroz en América Latina	21
Figura 4 Consumo per cápita de arroz en Colombia en el periodo 2000-2019.....	24
Figura 5 Quema de paja de arroz en el campo.	28
Figura 6 Principales etapas en la producción de microorganismos con potencial para generar biomasa microbiana o compuestos específicos útiles en la nutrición humana y en la nutrición animal	32
Figura 7 Incremento en % de proteína generada por el hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> sobre el sustrato cascarilla de arroz.	61
Figura 8 Efecto de interacción pH y temperatura para la producción de proteína.....	61
Figura 9 Degradación de componentes estructurales de la cascarilla de arroz por el Hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	62

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*) constituye un pilar fundamental en la alimentación mundial, siendo un cultivo esencial para la seguridad alimentaria de miles de millones de personas, especialmente en regiones como Asia, África y América Latina (FAO, 2011). Su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y de suelo ha permitido su expansión a lo largo y ancho del planeta, convirtiéndolo en un cultivo clave para la economía de numerosos países. Sin embargo, la producción de arroz, a pesar de su importancia, genera cantidades considerables de residuos agroindustriales, lo que plantea un desafío para la sostenibilidad ambiental.

La cascarilla de arroz, el subproducto más abundante de la industria arrocería, a menudo es descartada o subutilizada, generando problemas de contaminación y representando una pérdida de potenciales recursos. En Colombia, donde el arroz ocupa el tercer lugar en importancia agrícola después del café y el maíz, la problemática de la cascarilla de arroz es particularmente relevante (Fragoso, 2024). La búsqueda de alternativas sostenibles para la gestión de este residuo es crucial, no solo para minimizar el impacto ambiental, sino también para impulsar la economía circular y el desarrollo sostenible en el sector agrícola (Ruilova & Hernández, 2014).

El cultivo de hongos comestibles, como *Pleurotus ostreatus*, utilizando residuos agroindustriales como sustrato, emerge como una solución innovadora y sostenible para abordar la problemática de la gestión de residuos y la producción de alimentos. *P. ostreatus*, conocido popularmente como hongo ostra, es un basidiomiceto con una notable capacidad para degradar la lignina, la celulosa y la hemicelulosa, los principales componentes de la cascarilla de arroz (González, 2018). Esta habilidad le permite uti-

lizar este residuo como fuente de carbono y energía para su crecimiento, transformando un desecho en un alimento rico en proteínas, vitaminas y minerales. (Cruz et al., 2020). El cultivo de *P. ostreatus* en cascarilla de arroz no solo reduce el volumen de residuos, sino que también ofrece una alternativa económica y ambientalmente sostenible para la producción de alimentos, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo de sistemas de producción más eficientes. (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023).

La investigación, presentada en este libro, se centra en el estudio en profundidad del cultivo de *P. ostreatus* utilizando cascarilla de arroz como sustrato, con el objetivo de optimizar la producción de proteína unicelular y evaluar su potencial como una alternativa sostenible para la gestión de residuos agroindustriales (Chung, 2020). Si bien existen estudios previos sobre el cultivo de *P. ostreatus* en diferentes sustratos lignocelulósicos, incluyendo la paja de cereales, el bagazo de caña de azúcar y el aserrín (Ruilova & Hernández, 2014), la cascarilla de arroz, a pesar de su abundancia y bajo costo, ha sido relativamente menos explorada. Esta investigación busca llenar este vacío de conocimiento, analizando la influencia de factores como la temperatura, el pH y el pretratamiento del sustrato en el crecimiento y la productividad del hongo. (González, 2018). Además, se examina la composición química y el valor nutricional del hongo cultivado en cascarilla de arroz, evaluando su potencial como fuente de proteína para la alimentación humana y animal.

El objetivo general de este libro es analizar la producción de *Pleurotus ostreatus* utilizando cascarilla de arroz como sustrato, buscando optimizar la obtención de proteína unicelular y evaluar su aplicación como una alternativa sostenible para la gestión de residuos agroindustriales y la seguridad alimentaria. Este objetivo se alcanza a través de una aproximación multidisciplinaria que integra aspectos biológicos, químicos y ambientales. El libro se estructura en tres capítulos que guían al lector a través de los diferentes aspectos de la investigación.

El Capítulo I, “La producción de arroz y sus consecuencias medioambientales”, contextualiza la problemática de los residuos generados por el cultivo de arroz. Se describe el proceso de producción del arroz, su importancia económica y los volúmenes de producción a nivel mundial, con énfasis en América Latina y Colombia. Se analiza el impacto ambiental de esta actividad agrícola, destacando la generación de residuos, como la cascarilla de arroz, y sus consecuencias para el medio ambiente. Se presentan datos sobre la cantidad de residuos generados y se discuten los problemas de contaminación asociados a su disposición inadecuada. Finalmente, se introducen alternativas sostenibles para la gestión de residuos agroindustriales, como la producción de proteína unicelular, preparando el terreno para la solución propuesta en el libro.

El Capítulo II, “Hongos comestibles: *Pleurotus ostreatus*”, se centra en el hongo protagonista de la investigación. Se presenta una descripción detallada de *P. ostreatus*, incluyendo sus características macroscópicas, su esporada, su composición química, su microscopía y su valor nutricional. Se profundiza en las diferentes técnicas de cultivo de este hongo, desde los métodos tradicionales hasta las técnicas más modernas, como la fermentación en estado líquido y el cultivo semisólido. Finalmente, se establece la conexión entre *P. ostreatus* y la cascarilla de arroz, justificando el uso de este residuo como sustrato para el cultivo del hongo y destacando sus ventajas en términos de sostenibilidad y valorización de desechos.

El Capítulo III, “Metodología y Resultados”, describe en detalle la investigación realizada por Fragoso (2024). Se presenta la metodología empleada, incluyendo el diseño experimental, los materiales y los métodos utilizados. Se presentan los resultados obtenidos, tanto en forma de tablas como de figuras, y se realiza un análisis y una discusión de los mismos, contrastándolos con la literatura existente. Finalmente, se presentan las conclusiones derivadas de la investigación, respondiendo al objetivo general del estudio y resumiendo los hallazgos más relevantes. El capítulo finaliza con una sección de “Retos y reflexiones finales”, que plantea perspectivas futuras de investigación y reflexiona sobre las implicaciones del estudio para la

biotecnología, la seguridad alimentaria y la gestión sostenible de residuos agroindustriales.

CAPÍTULO I

LA PRODUCCIÓN DE ARROZ Y SUS CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

1.1. Proceso de producción de arroz

El proceso de producción de arroz, desde la siembra hasta su llegada al consumidor, es una compleja cadena de operaciones que, si bien ha logrado avances significativos en la maximización del rendimiento del grano, también ha generado una problemática creciente en cuanto al volumen de residuos producidos.

Entender este proceso, con sus diferentes etapas y la generación de subproductos, es fundamental para contextualizar la problemática que se abordará en este libro y justificar la búsqueda de soluciones sostenibles para el manejo de la paja y la cascarilla de arroz (Paredes & Becerra, 2015).

La producción de arroz comienza con la preparación del terreno, una etapa crucial que determina las condiciones óptimas para el crecimiento del cultivo. Esta preparación incluye la nivelación del terreno, fundamental para

asegurar una distribución uniforme del agua, especialmente en sistemas de riego por inundación.

Además, se incorpora materia orgánica al suelo para mejorar su fertilidad y estructura, lo que favorece el desarrollo de las raíces y la disponibilidad de nutrientes para la planta (Paredes & Becerra, 2015). Una adecuada preparación del terreno no solo impacta en el rendimiento del cultivo, sino también en la eficiencia del uso del agua y los fertilizantes, reduciendo así el impacto ambiental de la producción.

Tras la preparación del terreno, se procede a la siembra del arroz. Existen dos métodos principales de siembra: la siembra directa y el trasplante. La siembra directa consiste en depositar la semilla directamente en el suelo preparado, sin necesidad de semilleros. Esta técnica se utiliza en algunos sistemas de producción, especialmente en aquellos con limitaciones de agua, ya que requiere menos riego en las etapas iniciales del cultivo (Paredes & Becerra, 2015).

Por otro lado, el trasplante implica la germinación previa de la semilla en semilleros controlados y su posterior traslado al campo una vez que las plántulas han alcanzado cierto grado de desarrollo. Este método, aunque más laborioso, permite un mejor establecimiento del cultivo y un mayor control sobre las condiciones iniciales de crecimiento, lo que puede resultar en mayores rendimientos (Paredes & Becerra, 2015). La elección del método de siembra depende de factores como la disponibilidad de agua, el tipo de suelo, la variedad de arroz y las prácticas locales de cultivo.

Una vez sembrado el arroz, las etapas de fertilización y riego son esenciales para asegurar un crecimiento saludable y un rendimiento óptimo. La fertilización consiste en el aporte de nutrientes esenciales para la planta, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. La cantidad y la forma de aplicación de estos nutrientes varían según el tipo de suelo, la variedad de arroz y las condiciones climáticas (Paredes & Becerra, 2015).

Un manejo inadecuado de la fertilización puede tener consecuencias negativas, como la pérdida de nutrientes por lixiviación o volatilización, lo que aumenta el costo de producción y el impacto ambiental. El riego, por su parte, es fundamental para mantener la humedad del suelo y asegurar la disponibilidad de agua para la planta (Paredes & Becerra, 2015). El tipo de sistema de riego, la cantidad de agua aplicada y la frecuencia de riego también varían según las condiciones locales y el tipo de cultivo.

El control de malezas es otra etapa importante en la producción de arroz, ya que las malezas compiten con el cultivo por recursos como agua, luz y nutrientes, lo que reduce el rendimiento del grano. El control de malezas se puede realizar mediante métodos manuales, como el deshierbe, métodos mecánicos, como el uso de maquinaria agrícola, o mediante la aplicación de herbicidas selectivos que eliminan las malezas sin dañar al cultivo (Paredes & Becerra, 2015). La elección del método de control de malezas depende de factores como el tipo de maleza presente, la densidad de la infestación y el sistema de cultivo.

Finalmente, se llega a la etapa de cosecha, donde se recolecta el grano maduro. El rendimiento del cultivo, expresado en cantidad de grano producido por unidad de área, depende de una combinación de factores genéticos, ambientales y de manejo. Es en esta etapa donde se generan las mayores cantidades de residuos, incluyendo la paja, la cascarilla y otros subproductos (Zedeño et al., 2014).

La paja, compuesta por los tallos y hojas secas de la planta, es el residuo más voluminoso, mientras que la cascarilla, que recubre el grano, es un subproducto rico en sílice. Estos residuos, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener un impacto ambiental negativo, como la contaminación del suelo y del agua por la quema de paja de arroz (Zedeño et al., 2014).

Por lo tanto, la búsqueda de alternativas sostenibles para el aprovechamiento de estos residuos es esencial para minimizar el impacto ambiental de la producción de arroz y contribuir a la sostenibilidad del sector. La

valorización de la cascarilla, en particular, ofrece una oportunidad para transformar un residuo problemático en un recurso valioso (Zedeño et al., 2014). El cultivo de *Pleurotus ostreatus* en cascarilla de arroz se presenta como una alternativa prometedora para el aprovechamiento de este residuo, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental de la producción de arroz y a la generación de un producto de valor agregado.

1.2. Producción de arroz en América Latina y Colombia

La producción de arroz juega un papel crucial en la alimentación y la economía de América Latina, siendo un cultivo básico para la seguridad alimentaria de la región (Sanint, 2010, citado en Castro et al., 2019). La importancia de este cultivo se refleja en las cifras de producción, que muestran un crecimiento sostenido en las últimas décadas a pesar de la disminución del área sembrada en algunos países (Andrade et al., 2022).

Este incremento en la productividad, en gran parte, se ha logrado mediante la adopción de tecnologías mejoradas y la implementación de buenas prácticas agrícolas, lo que ha permitido obtener mayores rendimientos con un uso más eficiente de los recursos (Paredes & Becerra, 2015).

Sin embargo, este aumento en la producción también ha generado un incremento en la cantidad de residuos generados, particularmente la cascarilla de arroz, que representa un desafío para su adecuada gestión. En América Latina, la producción de arroz se concentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales, donde las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo del cultivo (Sanint, 2010, citado en Castro et al., 2019).

Colombia, por su parte, se destaca como uno de los principales productores de arroz en la región, con una producción que abastece la demanda interna y genera excedentes para la exportación (Andrade et al., 2022). La producción colombiana se concentra en diferentes regiones del país, cada una con sus propias características climáticas y de suelo (Paredes & Bece-

rra, 2015). Este factor influye en la elección de las variedades cultivadas, las prácticas de manejo y el rendimiento del cultivo.

A pesar de la importancia del arroz en la economía colombiana, el sector arrocerero enfrenta importantes retos, como la competencia con otros cultivos, la volatilidad de los precios y los desafíos climáticos (Andrade et al., 2022). Estos factores impactan en la rentabilidad del cultivo y la sostenibilidad del sector, lo que hace necesario buscar alternativas para la valorización de los residuos generados.

Para contextualizar la producción de arroz en Colombia, es útil compararla con la de otros países de la región, como Chile. Si bien Chile tiene una superficie cultivada de arroz significativamente menor, su experiencia en el aumento del rendimiento en las últimas décadas (Paredes & Becerra, 2015) ilustra el potencial de las tecnologías mejoradas y las buenas prácticas agrícolas para incrementar la productividad. La siguiente tabla muestra una comparación de la producción de arroz en Chile y Colombia en los últimos años, destacando las diferencias en la escala de producción y el rendimiento del cultivo.

Tabla 1. Comparación de la producción de arroz en Chile y Colombia.

País	Año	Producción (toneladas)	Rendimiento (kg/ha)	Superficie sembrada (ha)
Chile	2019	135,155	6,210	21,750
Colombia	2019	2,084,268	5,593	372,732
Chile	2020	129,985	6,034	21,530
Colombia	2020	1,789,935	4,788	373,615
Chile	2021	119,545	5,515	21,670
Colombia	2021	2,113,400	5,650	374,285

Fuente: Adaptado de Andrade et al. (2022) y Paredes y Becerra (2015).

La producción de arroz en Colombia se distribuye en diferentes departamentos, concentrándose en regiones específicas con condiciones favorables

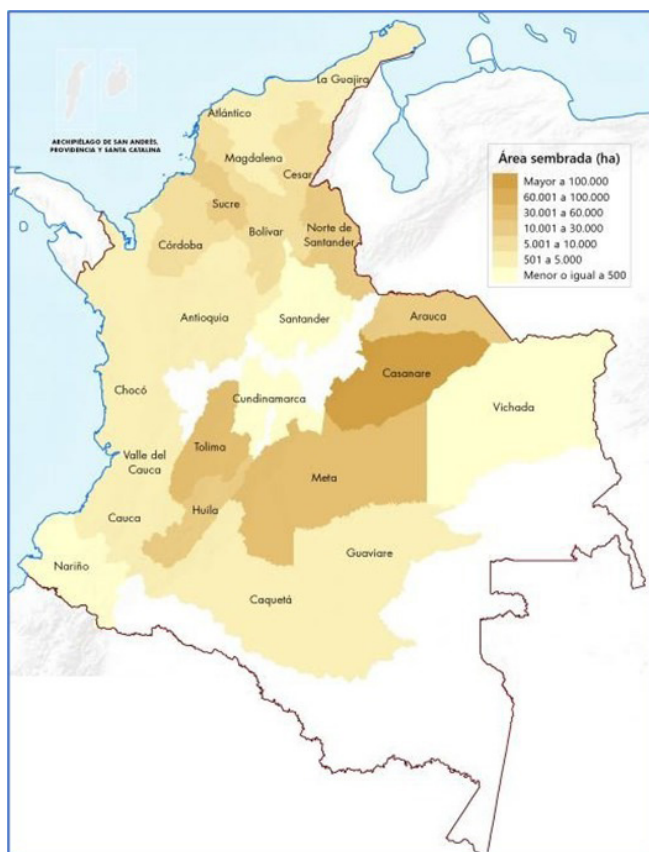
para el cultivo. La siguiente tabla muestra la producción de arroz en Colombia por departamento en el año 2021, lo que permite identificar las principales zonas productoras y contextualizar la disponibilidad de cascarilla de arroz como residuo.

Tabla 2. *Producción de arroz en Colombia por departamento (2021).*

Departamento	Producción (toneladas)	Porcentaje de la producción nacional
Meta	535,120	25.3%
Casanare	344,430	16.3%
Huila	261,019	12.3%
Tolima	248,189	11.7%
Otros	724,642	34.4%
Total	2,113,400	100%

Fuente: Adaptado de Andrade et al. (2022), DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y otras fuentes oficiales de estadísticas agrícolas de Colombia.

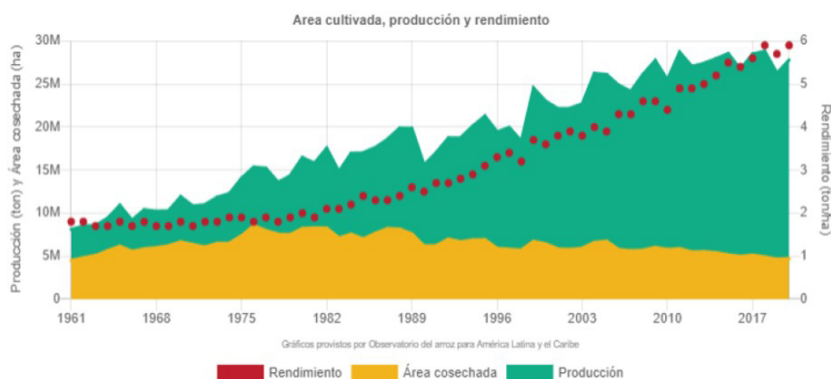
Figura 1. *Area sembrada de arroz mecanizado por departamentos para primer semestre de 2021*



Fuente: DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) (2021).

La visualización de la distribución geográfica de la producción de arroz en Colombia es esencial para comprender la disponibilidad de la cascarilla como residuo. El mapa adjunto muestra las zonas de mayor producción, las cuales coinciden con los departamentos mencionados en la Tabla 2. Esta información es fundamental para la planificación de estrategias de recolección y aprovechamiento de la cascarilla, con el fin de minimizar su impacto ambiental y promover su valorización.

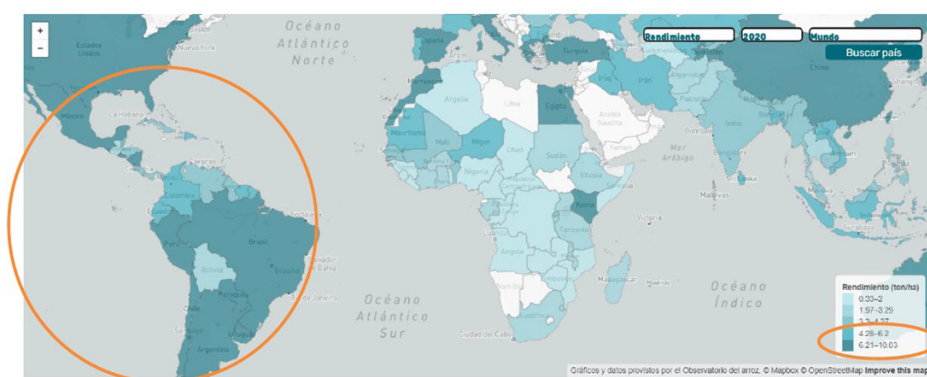
Figura 2. Producción de arroz en América Latina.



Fuente: DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) (2021).

La producción de arroz en América Latina ha mostrado una tendencia al alza en las últimas décadas. El Figuraadjunto, que muestra la producción de arroz en América Latina en los últimos cinco años, destaca la posición de Colombia como uno de los principales productores de la región (Andrade et al., 2022).

Figura 3. Rendimiento de arroz en América Latina.



Fuente: Andrade et al., 2022.

Comparar el rendimiento de arroz entre los países de América Latina (brecha productiva) permite identificar oportunidades de mejora en la productividad y eficiencia del cultivo. El Figuraadjunto muestra el rendimiento promedio de arroz en diferentes países de la región, destacando la variabilidad existente y las diferencias en el nivel tecnológico y las prácticas de manejo (Andrade et al., 2022).

El desafío de la gestión de la cascarilla de arroz, un subproducto abundante generado durante el procesamiento del grano, se inserta en la problemática más amplia de los residuos agrícolas en América Latina. Al igual que en el caso del “Corredor Seco Centroamericano”, donde los desafíos hídricos y ambientales son particularmente agudos, la gestión de los residuos agrícolas requiere un enfoque que considere tanto los desafíos globales como las particularidades locales.

Si bien el problema de los residuos de arroz es global, la disponibilidad de recursos, las tecnologías y las prácticas de manejo varían según la región, lo que requiere soluciones adaptadas a cada contexto. El desarrollo de estrategias sostenibles para la gestión de la cascarilla de arroz, como la propuesta de este libro, es esencial para minimizar el impacto ambiental de la producción de arroz y promover la economía circular en el sector.

1.3. Demanda de la producción de arroz en Colombia

La demanda de arroz en Colombia, impulsada por su papel como alimento básico en la dieta de la población, es un factor determinante en la generación de grandes volúmenes de cascarilla como residuo agrícola (Andrade et al., 2022). El arroz, al ser una fuente primaria de carbohidratos y contribuir significativamente a la ingesta calórica diaria, tiene una demanda interna considerable, lo que a su vez impulsa la producción nacional y, en algunos casos, la necesidad de importaciones para cubrir la demanda total (Paredes & Becerra, 2015).

Comprender la dinámica entre la demanda, la producción y las importaciones de arroz es fundamental para dimensionar la magnitud de la generación de cascarilla y justificar la búsqueda de alternativas sostenibles para su aprovechamiento. Este análisis, además, debe considerar las proyecciones de demanda a futuro, ya que el crecimiento poblacional y los cambios en los hábitos alimenticios pueden influir en el consumo de arroz y, consecuentemente, en la generación de cascarilla.

El consumo de arroz en Colombia, medido en kilogramos per cápita al año, refleja la importancia de este cereal en la alimentación de la población y su contribución a la seguridad alimentaria (Sanint, 2010, citado en Castro et al., 2019). Comparar estas cifras con el consumo de arroz en otros países de la región, como Chile, permite contextualizar la demanda colombiana y comprender las diferencias en los patrones de consumo.

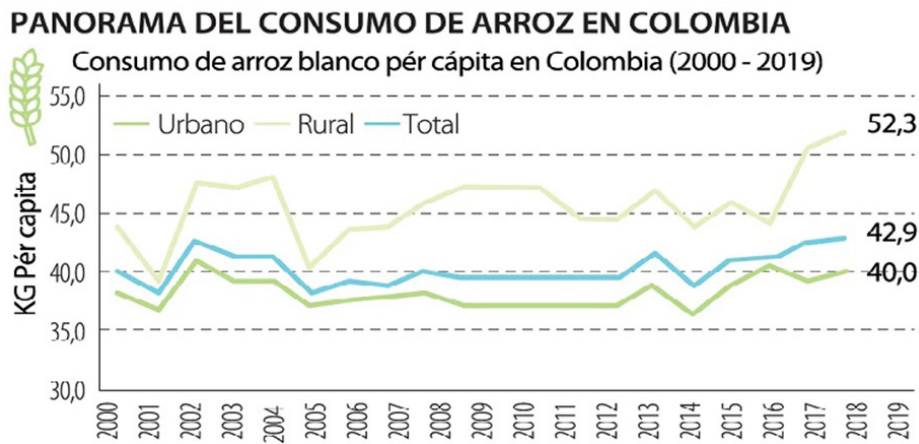
El análisis de la evolución del consumo de arroz en Colombia en los últimos años, junto con las proyecciones de demanda a corto y mediano plazo, proporciona una visión integral del mercado arrocero y su potencial para la generación de cascarilla como residuo. La información sobre la ingesta calórica y el gasto de los hogares colombianos en arroz (Andrade et al., 2022) complementa este análisis y permite comprender la importancia económica y social del cultivo de arroz en el país.

La conexión entre la demanda de arroz y la generación de cascarilla es crucial para justificar la búsqueda de alternativas sostenibles para el manejo de este residuo. La cascarilla, que representa aproximadamente el 20% del peso del grano de arroz, se genera durante el proceso de descascarillado, la etapa en la que se separa el grano de su cubierta exterior (Paredes & Becerra, 2015).

Al relacionar la demanda de arroz con la producción nacional y las importaciones, se puede proyectar la cantidad de cascarilla generada y su potencial para ser aprovechada. Esta información es esencial para la planificación de estrategias de gestión de residuos y para el desarrollo de nuevas

tecnologías que permitan transformar la cascarilla en productos de valor agregado, contribuyendo así a la economía circular y a la sostenibilidad del sector arrocero.

Figura 4. Consumo per cápita de arroz en Colombia en el periodo 2000-2019.



Fuente: Andi/Fedesarrollo (2022).

Tabla 3. Demanda, producción, importaciones, disponibilidad interna y generación estimada de cascarilla de arroz en Colombia y Chile.

País	Año	Demanda (toneladas)	Producción (toneladas)	Importaciones (toneladas)	Disponibilidad Interna (toneladas)	Cascarilla estimada (toneladas)
Chile	2019		135,155			
Colombia	2019	1.600.000	1.419.270	180.730	1.600.000	320.000
Chile	2020		129,985			
Colombia	2020	1.600.000	1.266.628	333.372	1.600.000	320.000
Chile	2021		119,545			
Colombia	2021	1.600.000	1.382.130	217.870	1.600.000	320.000

Fuente: Datos de producción e importaciones de Paredes y Becerra (2015) para Chile y Andrade et al. (2022) para Colombia. Datos de demanda y consumo per cápita estimados a partir de FAOSTAT y DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) ajustados a proyecciones de crecimiento poblacional, manteniendo

la proporción actual de consumo respecto a la disponibilidad interna. Estimación de cascarilla considerando un 20% del total de arroz procesado.

1.4. Residuos generados durante la producción de arroz y sus consecuencias

La producción de arroz, si bien es esencial para la alimentación de una parte importante de la población mundial, genera una cantidad considerable de residuos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener consecuencias negativas para el medio ambiente (Zedeño et al., 2014). La paja y la cascarilla de arroz son los dos principales residuos generados durante el proceso de producción, representando un desafío para su manejo y una oportunidad para su valorización (Contreras-Franco, 2024).

La quema de paja de arroz, una práctica común en muchas regiones productoras, genera emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos que contribuyen al cambio climático y afectan la calidad del aire (Zedeño et al., 2014). Además, la disposición inadecuada de estos residuos puede contaminar suelos y cuerpos de agua, afectando la biodiversidad y la salud humana. Por lo tanto, la búsqueda de alternativas sostenibles para el manejo de estos residuos es crucial para minimizar el impacto ambiental de la producción de arroz.

La cascarilla de arroz, un subproducto lignocelulósico que representa entre el 20% y el 25% del peso del grano de arroz, se genera durante el proceso de descascarillado, la etapa en la que se separa el grano de su cubierta exterior (Paredes & Becerra, 2015). A diferencia de la paja, que se compone principalmente de celulosa, la cascarilla tiene un alto contenido de sílice, lo que le confiere una mayor resistencia a la degradación y la hace menos susceptible a la descomposición (Zedeño et al., 2014).

Tradicionalmente, la cascarilla se ha considerado un desecho con pocas aplicaciones y se ha manejado mediante prácticas como la quema a cielo abierto, el depósito en vertederos o su uso como combustible de baja ca-

lidad. Sin embargo, estas prácticas no solo generan emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, sino que también representan una pérdida de un recurso potencialmente valioso (Ribó et al., 2017).

Tabla 4. *Composición de los residuos del arroz.*

Residuo	Composición (%)
Cascarilla	20-25
Paja	50-60
Otros	15-25

Fuente: Adaptado de Zedeño et al. (2014), Paredes y Becerra (2015) y Contreras Franco (2024).

La cantidad de cascarilla de arroz generada anualmente en Colombia es considerable, aunque no existen datos precisos y actualizados sobre su volumen exacto. Estimar esta cantidad requiere considerar la producción nacional de arroz y la proporción de cascarilla generada por unidad de grano procesado.

A partir de la información disponible sobre la producción de arroz en Colombia (Andrade et al., 2022), y asumiendo una proporción de cascarilla del 20%, se puede estimar una generación anual de cascarilla en el orden de cientos de miles de toneladas. El destino actual de la mayor parte de esta cascarilla es la quema a cielo abierto, el depósito en vertederos o su uso como combustible de baja calidad, lo que tiene un impacto ambiental negativo (Zedeño et al., 2014).

La quema de cascarilla de arroz genera emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y otros gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. Además, la quema incompleta de la cascarilla produce partículas finas y otros contaminantes atmosféricos que afectan la calidad del aire y pueden tener efectos negativos en la salud humana (Ribó et al., 2017). La siguiente tabla, adaptada de

Zedeño et al. (2014), muestra la composición de las emisiones generadas por la quema de paja de arroz, destacando la presencia de diferentes contaminantes.

Tabla 5 Composición de las emisiones generadas por la quema de paja de arroz (base masa seca).

Componente	Paja de arroz (g/kg)
PM _{2.5}	12.95 ± 0.30
Carbono orgánico	8.94 ± 0.42
Carbono elemental	0.17 ± 0.04

Fuente: Adaptado de Zedeño et al. (2014).

La necesidad de buscar alternativas sostenibles para el manejo de la cascarilla de arroz se justifica no solo por sus implicaciones ambientales, sino también por su potencial para ser transformada en productos de valor agregado. La cascarilla, un residuo abundante y de bajo costo, puede ser utilizada como materia prima para la elaboración de diversos productos, como materiales de construcción, biocombustibles, adsorbentes y sustratos para el cultivo de hongos (Contreras-Franco, 2024). El desarrollo de estas alternativas no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental de la producción de arroz, sino que también genera nuevas oportunidades económicas para el sector.

Tabla 6. Análisis elemental de la paja, hojas y cascarilla de arroz (% peso seco).

Componente	Paja	Hojas/Paja	Cascarilla
N	0.41	2.74	
P	0.053	0.14	
K	1.56	1.53	
Ca	0.49	0.56	
Mg	0.17		
SiO ₂	15-23	17.3-19.2	19.3-20.3

Fuente: Ma & Takahashi (2002) y Navarro (2008).

Figura 5. *Quema de paja de arroz en el campo*



Fuente: Ribó et al. (2017).

La imagen adjunta, extraída de Ribó et al. (2017), muestra la quema de paja de arroz en el campo, una práctica que, aunque tradicional, tiene un impacto ambiental negativo. Esta imagen visualiza la problemática de la gestión de residuos agrícolas y la necesidad de buscar alternativas sostenibles. La valorización de la cascarilla de arroz, como la que se propone en este libro, se presenta como una solución prometedora para mitigar el impacto ambiental de la producción de arroz y generar beneficios económicos y sociales para el sector.

1.5. Producción de proteína unicelular como método sostenible para producir alimentos ricos en proteínas

La búsqueda de fuentes alternativas y sostenibles de proteínas para la alimentación humana y animal es un desafío crucial en el contexto actual de crecimiento poblacional y cambio climático (Gamboa et al., 2023). La producción de proteína unicelular (SCP, por sus siglas en inglés), a partir del cultivo de microorganismos como bacterias, levaduras, hongos

unicelulares y microalgas, se presenta como una alternativa prometedora para complementar las fuentes tradicionales de proteínas, como la carne, la soja y la harina de pescado.

Este enfoque innovador aprovecha la capacidad de los microorganismos para crecer rápidamente y con alta eficiencia, utilizando una variedad de sustratos, desde residuos agrícolas hasta gases como el metano (Gamboa et al., 2023). La producción de SCP, además de ser una fuente de proteínas de alto valor biológico, también contribuye a la reducción del impacto ambiental de la producción de alimentos al valorizar residuos y disminuir la dependencia de recursos naturales.

El cultivo de hongos, como el *Pleurotus ostreatus*, utilizando residuos agrícolas como la cascarilla de arroz como sustrato, es otra estrategia para la producción de alimentos sostenibles que se alinea con la búsqueda de alternativas para la obtención de proteínas (Castillo, 2019). A diferencia de la SCP, que se basa en el cultivo de microorganismos unicelulares, el cultivo de hongos se centra en la producción de biomasa fúngica, la cual también es una fuente de proteínas, vitaminas, minerales y otros nutrientes.

Ambas estrategias, la producción de SCP y el cultivo de hongos, ofrecen ventajas y desventajas en términos de eficiencia, costo de producción, escalabilidad y aplicabilidad. Si bien la producción de SCP puede lograr rendimientos muy altos en cortos periodos de tiempo, su escalamiento a nivel industrial y la aceptación del producto por parte del consumidor pueden ser un desafío (Gamboa et al., 2023).

Por otro lado, el cultivo de hongos, aunque con rendimientos potencialmente menores, puede ser más fácilmente adoptado por pequeños productores y comunidades locales, contribuyendo a la diversificación de la producción de alimentos y a la generación de ingresos. La elección del cultivo de *Pleurotus ostreatus* en cascarilla de arroz como tema central de este libro se justifica por su potencial para valorizar un residuo agrícola abundante y problemático, la cascarilla de arroz, transformándolo en un producto de alto valor nutricional.

Esta estrategia no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental de la producción de arroz, sino que también ofrece una alternativa sostenible para la obtención de proteínas, vitaminas y minerales, esenciales para la alimentación humana y animal. Además, el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en cascarilla de arroz es una tecnología relativamente sencilla y de bajo costo, que puede ser adoptada por pequeños productores, generando nuevas oportunidades económicas y promoviendo la sostenibilidad en el sector arrocero.

A diferencia del cultivo de microorganismos para la obtención de SCP, que puede requerir tecnologías más complejas y una mayor inversión, el cultivo de hongos en sustratos sólidos como la cascarilla de arroz es una tecnología más accesible y adaptable a diferentes contextos. Esta característica facilita su adopción por parte de pequeños productores y comunidades locales, contribuyendo así a la diversificación de la producción de alimentos y a la generación de ingresos en zonas rurales.

Tabla 7. Comparación de características nutricionales (% base seca).

Fuente	Proteína	Lípidos	Cenizas	Ácidos nucleicos
Microalgas	6-62	3-45	8-43	3-8
Levaduras	45-55	1-6	5-10	6-15
Bacterias	50-65	1-3	3-7	8-12
Harina de pescado	59-74	8-14	10-22	0.2-0.6

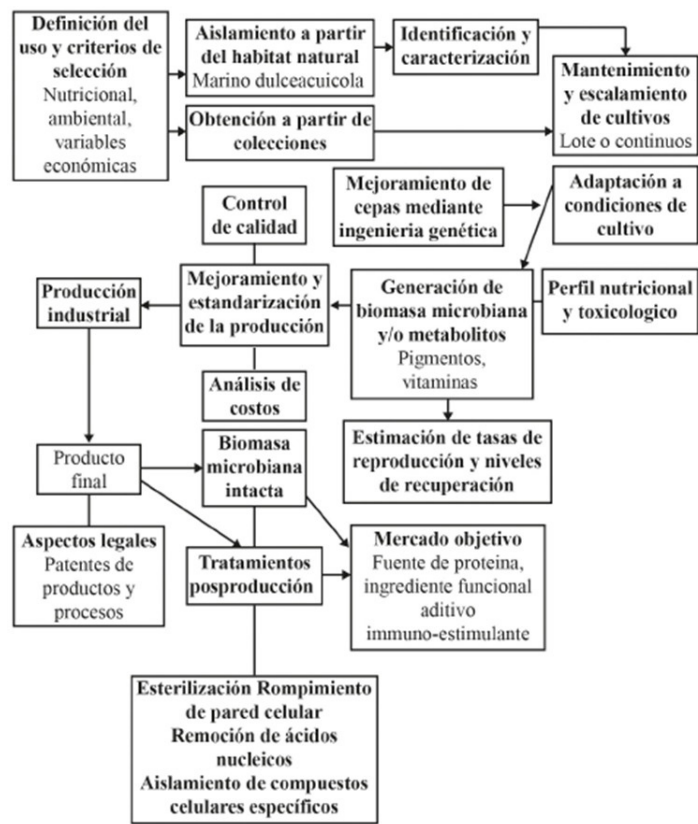
Fuente: Gamboa y Márquez-Reyes, 2018.

Tabla 8. *Composición bioquímica de algunas microalgas comestibles marinas y de agua dulce.*

Especie	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)
Chlorella vulgaris	51-58	14-22	12-17
Haematococcus pluvialis	48	15	27
Dunaliella salina	39-61	14-20	14-18
Spirulina maxima	60-71	4-9	8-14
Chlamydomonas reinhardtii	48	21	17
Scenedesmus obliquus	50-56	12-14	10-17
Porphyridium cruentum	28-39	9-14	40-57

Fuente: Cerón (2013).

Figura 6. Principales etapas en la producción de microorganismos con potencial para generar biomasa microbiana o compuestos específicos útiles en la nutrición humana y en la nutrición animal



Fuente: Gamboa-Delgado y Márquez-Reyes (2018).

Tabla 9. Costos de producción por kilogramo de biomasa.

Medio de cultivo	Costo por kg de biomasa
Comercial	98696,736 COP
Económico	42722,936 COP

Fuente: Castillo (2019).

La Tabla 9, adaptada de Castillo (2019), muestra una comparativa del costo de producción de biomasa de *Arthrospira maxima* utilizando un medio comercial y un medio económico formulado en el laboratorio. La diferencia en los costos resalta la importancia de la búsqueda de alternativas económicas para la producción de biomasa microbiana, lo que hace aún más relevante la propuesta de este libro de utilizar la cascarilla de arroz, un residuo de bajo costo, como sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Esta estrategia, además de ofrecer una alternativa sostenible para la obtención de proteínas, también contribuye a la valorización de residuos agrícolas y al desarrollo de una economía circular en el sector.

CAPÍTULO II

HONGOS COMESTIBLES: *PLEUROTUS OSTREATUS*

2.1. Definición e importancia de los hongos comestibles

Los hongos comestibles, un fascinante grupo dentro del reino Fungi, se distinguen por su capacidad para formar cuerpos fructíferos macroscópicos, estructuras reproductivas que se cosechan y se consumen como alimento. A diferencia de otros hongos, como los mohos y levaduras, cuya presencia a menudo se asocia con el deterioro de los alimentos, los hongos comestibles son valorados por su sabor, textura y valor nutricional. Estos cuerpos fructíferos, que varían en forma, tamaño y color según la especie, son el resultado de un complejo proceso de desarrollo que involucra la fusión de hifas y la formación de un micelio dicariótico (Cano & Romero, 2016).

Su clasificación taxonómica, si bien compleja, generalmente los ubica dentro del filo Basidiomycota o Ascomycota. Estos filos, que representan la mayoría de los hongos macroscópicos, se diferencian principalmente por la forma en que se producen sus esporas, estructuras microscópicas que

permiten la reproducción y la dispersión del hongo. Los basidiomicetos, como *Pleurotus ostreatus*, forman sus esporas en estructuras llamadas basidios, mientras que los ascomicetos las producen en ascas (Piska et al., 2017).

El rol ecológico de los hongos comestibles como descomponedores es esencial para el equilibrio de los ecosistemas. Al igual que otros hongos saprófitos, descomponen la materia orgánica muerta, como la madera, las hojas y los restos vegetales, liberando nutrientes esenciales al suelo. Este proceso de descomposición, conocido como mineralización, es fundamental para el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas, permitiendo que las plantas puedan acceder a los elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo (Chung, 2020).

Desde una perspectiva nutricional, los hongos comestibles se destacan por su perfil único, constituyendo una fuente importante de nutrientes esenciales para una dieta saludable. Su contenido proteico es particularmente relevante, especialmente en dietas vegetarianas o veganas, donde pueden representar una alternativa a las proteínas de origen animal (Cano & Romero, 2016).

El porcentaje de proteína en los hongos comestibles varía según la especie y las condiciones de cultivo, pero puede alcanzar niveles significativos, superando en algunos casos a ciertas legumbres o cereales. Además de proteínas, los hongos comestibles son ricos en vitaminas, especialmente del complejo B, como la riboflavina (B2), la niacina (B3) y el ácido fólico (B9) (Piska et al., 2017). Estas vitaminas desempeñan un papel crucial en el metabolismo energético, la función nerviosa y la formación de glóbulos rojos.

Asimismo, aportan minerales esenciales como el potasio, el fósforo y el zinc, necesarios para el correcto funcionamiento del organismo. Su bajo contenido en grasas y su aporte de fibra dietética, que contribuye a la salud digestiva y a la regulación del colesterol, los convierten en un alimento ideal para una dieta equilibrada. Estudios han demostrado que el consumo

de hongos comestibles se asocia con diversos beneficios para la salud, incluyendo la reducción del colesterol, el fortalecimiento del sistema inmunológico y la prevención de enfermedades crónicas.

El impacto económico de los hongos comestibles es creciente y se manifiesta tanto a nivel local como global. Su cultivo, que puede realizarse a diferentes escalas, desde pequeños huertos familiares hasta grandes plantaciones comerciales, genera empleo e ingresos en las comunidades rurales, contribuyendo al desarrollo económico de las regiones donde se producen (Chung, 2020).

La comercialización de hongos comestibles, ya sea frescos, deshidratados o procesados, representa una actividad económica importante, con un mercado en constante expansión. La creciente demanda de alimentos saludables, la diversificación de la oferta gastronómica y la incorporación de los hongos comestibles en nuevos productos, impulsan el crecimiento de este mercado. La recolección de hongos silvestres comestibles, una práctica con profundas raíces culturales en muchas comunidades, no solo representa una fuente de ingresos para las familias que se dedican a ella, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas forestales y a la valorización de la biodiversidad (Cano & Romero, 2016).

El aprovechamiento de residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz, para el cultivo de hongos comestibles, es una estrategia innovadora que permite generar valor a partir de subproductos que de otra manera se desperdiciarían, contribuyendo a la economía circular y al desarrollo sostenible.

Además de su papel como descomponedores de materia orgánica, los hongos comestibles tienen un papel importante en la bioremediación, el uso de organismos vivos para la eliminación de contaminantes del medio ambiente. Su capacidad para degradar una amplia gama de compuestos orgánicos, incluyendo algunos contaminantes persistentes, los convierte en herramientas valiosas para la descontaminación de suelos y aguas (Piska et al., 2017).

Diversas especies de hongos comestibles han demostrado ser eficaces en la eliminación de pesticidas, metales pesados y otros productos tóxicos del medio ambiente. El cultivo de hongos comestibles utilizando residuos agrícolas, como la cascarilla de arroz, no solo reduce la contaminación generada por la acumulación y la quema de estos residuos, sino que también ofrece una alternativa sostenible para su gestión y valorización (Chung, 2020). Esta práctica, que transforma un problema ambiental en una oportunidad económica, contribuye a la conservación de los recursos naturales y al desarrollo sostenible.

El *Pleurotus ostreatus* se destaca como un ejemplo paradigmático de hongo comestible con un enorme potencial para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz. Este hongo, clasificado dentro del filo Basidiomycota, es conocido por su facilidad de cultivo, su adaptabilidad a una amplia gama de sustratos y su alto valor nutricional y medicinal (Piska et al., 2017).

Su capacidad para degradar la lignina y la celulosa, los principales componentes de la cascarilla de arroz, lo convierte en un candidato ideal para el aprovechamiento de este residuo. El cultivo de *P. ostreatus* utilizando cascarilla de arroz como sustrato, no solo ofrece una solución sostenible para la gestión de este residuo agrícola, sino que también proporciona una fuente de alimento rica en proteínas, vitaminas y minerales, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible.

Los hongos comestibles, en definitiva, se presentan como un recurso con un enorme potencial para la alimentación, la medicina, la economía y el medio ambiente. Su estudio y cultivo, en particular utilizando residuos agrícolas como la cascarilla de arroz, representan una alternativa sostenible e innovadora para la producción de alimentos, la generación de empleo, la biorremediación y la gestión de residuos. El *Pleurotus ostreatus*, con su versatilidad y sus valiosas propiedades, se posiciona como un protagonista en este escenario, brindando soluciones prometedoras para los desafíos del siglo XXI.

2.2. *Pleurotus ostreatus*

2.2.1. Descripción macroscópica

Pleurotus ostreatus, reconocido en la literatura científica con el nombre binomial que lo identifica, es un hongo basidiomiceto que pertenece a la familia Pleurotaceae. Esta familia se distingue dentro del reino Fungi por su importante rol en la descomposición de materia orgánica, particularmente de la madera, gracias a su capacidad para degradar la lignina, un componente complejo y resistente presente en las paredes celulares de las plantas (Piska et al., 2017).

El *P. ostreatus*, conocido comúnmente como hongo ostra, seta, orellana o girgola, se caracteriza por su crecimiento en forma de racimos que se asemejan a colonias de ostras, de ahí su denominación común. Su versatilidad para prosperar en una amplia gama de sustratos, desde residuos agrícolas hasta desechos industriales, ha despertado el interés de la biotecnología para la producción de alimentos y otras aplicaciones (Cruz et al., 2010).

Para su correcta identificación y para una completa comprensión de su desarrollo, resulta esencial una descripción macroscópica precisa que abarque las diferentes etapas de su ciclo de vida (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023). El píleo, también conocido como sombrero, es la estructura más prominente y distintiva de *P. ostreatus*. Su forma evoluciona a lo largo del desarrollo del hongo. En ejemplares jóvenes, el píleo se presenta convexo o abombado, aplanándose gradualmente a medida que madura (Cruz et al., 2020).

En etapas más avanzadas de desarrollo, algunos píleos pueden incluso desarrollar una ligera depresión central. El tamaño del píleo es otro rasgo variable que oscila entre 5 y 15 cm de diámetro, influenciado por factores como las condiciones ambientales, la disponibilidad de nutrientes y la cepa específica (Piska et al., 2017).

La superficie del píleo es generalmente lisa, pudiendo exhibir una textura ligeramente viscosa, particularmente en condiciones de alta humedad (Cruz et al., 2010). Este carácter viscoso se atribuye a la presencia de una fina capa mucilaginosa que recubre la superficie del píleo y que le ayuda a retener la humedad, protegiéndolo de la desecación (Cano & Romero, 2016).

La coloración del píleo es un aspecto altamente variable en *P. ostreatus*, lo que dificulta su identificación si se basa únicamente en este rasgo. Se observa una amplia gama de colores que van desde tonos grisáceos pálidos, gris pizarra, hasta tonos parduzcos e incluso marrones oscuros (Cruz et al., 2010). En algunos casos, se ha reportado una coloración más amarillenta en ejemplares maduros, lo que puede estar relacionado con la degradación de pigmentos o con cambios en la composición química del hongo a medida que envejece (Cruz et al., 2020).

Factores externos como la intensidad de la luz, la humedad ambiental y la temperatura también pueden influir en la coloración del píleo, añadiendo más complejidad a la identificación visual. (Piska et al., 2017).

La textura del píleo, generalmente lisa al tacto, puede volverse ligeramente viscosa, sobre todo en ambientes húmedos (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023). Esta característica, que es apreciable al tacto, se debe a la secreción de mucílago, sustancia que ayuda al hongo a retener la humedad y a protegerse de la desecación, especialmente en condiciones ambientales desfavorables (Cano & Romero, 2016).

Las láminas, también denominadas himenio, constituyen la estructura reproductiva de *P. ostreatus*, donde se forman las esporas responsables de su reproducción. Estas láminas, que se extienden radialmente desde el estípite o tallo hasta el margen del píleo, son relativamente anchas y se encuentran separadas entre sí, lo que facilita su observación y estudio (Cruz et al., 2010). Su coloración, que oscila entre tonos blanquecinos y cremas, es un carácter distintivo que ayuda a diferenciar *P. ostreatus* de otras especies de hongos (Cano & Romero, 2016).

En algunos casos, se puede observar una bifurcación o división de las láminas en dos ramas, una característica que, aunque no siempre presente, puede ser útil para la identificación (Cruz et al., 2010). El estípite o tallo es la estructura que sostiene el píleo de *P. ostreatus*. A diferencia del píleo, que puede alcanzar dimensiones considerables, el estípite es característicamente corto, con una longitud que raramente supera los 6 cm (Piska et al., 2017). Su posición con respecto al píleo puede ser central, aunque con frecuencia se observa una inserción lateral o excéntrica, desplazada hacia un lado del píleo. (Cruz et al., 2010). Esta variación en la inserción del estípite puede estar relacionada con la disponibilidad de espacio y nutrientes, así como con la orientación del hongo durante su crecimiento.

La forma del estípite es generalmente cilíndrica, aunque en algunos casos puede ser ligeramente curvada (Cruz et al., 2020). Su superficie, lisa en la parte superior cercana al píleo, se vuelve progresivamente más pelosa o tomentosa hacia la base, cubierta de finos filamentos que le confieren una textura característica (Cruz et al., 2010).

Esta textura tomentosa en la base del estípite puede ayudar a la fijación del hongo al sustrato, aumentando su estabilidad (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023). La coloración del estípite es blanca, similar a la de las láminas, aunque la base puede presentar tonos más oscuros debido a la acumulación de sustancias o a la interacción con el sustrato (Cano & Romero, 2016). La textura del estípite es firme y algo dura, especialmente en la base, proporcionando soporte estructural al píleo (Cruz et al., 2020).

2.2.2. Esporada, química y microscopia

La caracterización microscópica de *Pleurotus ostreatus*, que abarca el estudio de sus esporas, su composición química y sus estructuras celulares, es esencial para una comprensión holística de este hongo. A diferencia de la descripción macroscópica, que se limita a las características observables a simple vista, la microscopía desvela detalles cruciales a nivel celular, proporcionando información valiosa sobre su reproducción, metabolismo y

potencial biotecnológico. La esporada, el conjunto de esporas que el hongo produce para su reproducción, es un elemento clave para la identificación y clasificación taxonómica de la especie.

El análisis de la composición química, por su parte, revela la riqueza y diversidad de compuestos bioactivos presentes en *P. ostreatus*, con implicaciones significativas para su valor nutricional y medicinal. Finalmente, la microscopía permite la visualización detallada de las estructuras celulares que conforman el hongo, como las hifas y los basidios, aportando información clave sobre su organización y funcionamiento (Piska et al., 2017).

La integración de estos tres aspectos: esporada, química y microscopía, ofrece una perspectiva completa de *P. ostreatus* a nivel microscópico, complementando la descripción macroscópica y enriqueciendo el conocimiento científico sobre este versátil hongo (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

Las esporas de *P. ostreatus*, unidades reproductivas microscópicas, son esenciales para la perpetuación de la especie y un elemento clave para su identificación. Al observarlas al microscopio, se aprecian como estructuras alargadas, de forma cilíndrica, con dimensiones que oscilan entre 8 y 11 micrómetros de largo y entre 3 y 4 micrómetros de ancho (Cano & Romero, 2016; Piska et al., 2017).

Estas dimensiones, comparables al tamaño de algunas bacterias, son rasgos distintivos que permiten diferenciar a *P. ostreatus* de otras especies de hongos, cuyas esporas pueden presentar morfologías y tamaños variables. La precisión en la medición de las esporas es crucial para la taxonomía fúngica, ya que permite la correcta clasificación e identificación de las especies (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

En cuanto a su coloración, las esporas de *P. ostreatus* son blanquecinas, con un ligero tono lila-grisáceo, que se aprecia con mayor intensidad cuando se acumulan en grandes cantidades, formando las esporadas (Piska et al.,

2017). Esta tonalidad, aunque sutil, es un carácter adicional a considerar en la identificación microscópica.

La combinación de la forma, el tamaño y el color de las esporas proporciona una “huella digital” microscópica que permite distinguir a *P. ostreatus* de otros hongos. (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017). Esta precisión en la identificación es fundamental tanto para los micólogos que estudian la diversidad fúngica, como para los cultivadores que buscan optimizar las condiciones de producción de este hongo comestible.

La composición química de *P. ostreatus* es un reflejo de su riqueza metabólica y un indicador de su potencial nutricional y medicinal. El contenido de agua en los cuerpos fructíferos frescos es elevado, oscilando entre el 80% y el 90%, similar al de la mayoría de los hongos (Piska et al., 2017). El porcentaje restante corresponde a materia seca, la cual alberga una notable concentración de proteínas, alrededor del 27-48%, lo que posiciona a *P. ostreatus* como una excelente fuente de este macronutriente esencial para la dieta humana.

Los carbohidratos, principalmente en forma de fibra dietética, representan aproximadamente el 60% de la materia seca, contribuyendo significativamente a su valor nutricional (Cano & Romero, 2016). La fibra dietética, un tipo de carbohidrato que el organismo humano no puede digerir, desempeña un papel crucial en la salud digestiva, promoviendo la regularidad intestinal y contribuyendo a la prevención de enfermedades crónicas.

Los lípidos, por su parte, constituyen un porcentaje menor de la materia seca, entre el 2 y el 8%, y entre ellos destaca el ácido linoleico, un ácido graso esencial con propiedades beneficiosas para la salud cardiovascular (Piska et al., 2017). *P. ostreatus* también es una fuente importante de vitaminas y minerales, incluyendo niacina, tiamina, riboflavina, vitamina B12, potasio, fósforo, calcio, hierro, zinc, magnesio, cobre y selenio (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

Estos micronutrientes desempeñan un papel fundamental en diversas funciones fisiológicas, contribuyendo al correcto funcionamiento del organismo. La presencia de esta amplia gama de nutrientes convierte a *P. ostreatus* en un alimento completo y saludable, con potencial para contribuir a una dieta balanceada.

Entre la diversidad de compuestos bioactivos que se encuentran en *P. ostreatus*, dos han sido objeto de particular atención por parte de la comunidad científica: la lovastatina y la pleuran. La lovastatina, un compuesto que actúa como inhibidor de la enzima HMG-CoA reductasa, desempeña un papel crucial en la regulación del colesterol en el organismo. Esta enzima es responsable de un paso clave en la biosíntesis del colesterol, y la inhibición de su actividad por la lovastatina reduce la producción de colesterol en el hígado, lo que a su vez disminuye los niveles de colesterol en sangre.

Este efecto hipocolesterolemizante de la lovastatina ha sido ampliamente estudiado y validado, lo que la convierte en un fármaco ampliamente utilizado en el tratamiento de la hipercolesterolemia (Piska et al., 2017). La pleuran, por otro lado, es un betaglucano, un tipo de polisacárido, con propiedades inmunomoduladoras que ha mostrado resultados prometedores en estudios preclínicos y clínicos. Los betaglucanos son reconocidos por su capacidad para interactuar con el sistema inmunitario, modulando su respuesta y fortaleciendo la defensa del organismo contra patógenos y células tumorales. Se ha demostrado que la pleuran puede activar diferentes células del sistema inmunitario, como los macrófagos y las células NK, potenciando su capacidad para eliminar células cancerosas y agentes infecciosos.

Este efecto inmunoestimulante de la pleuran ha generado gran interés en la comunidad científica, y se están realizando investigaciones para explorar su potencial en el tratamiento de diversas enfermedades, incluyendo el cáncer, infecciones y trastornos del sistema inmunitario (Piska et al., 2017).

P. ostreatus, al igual que otros hongos, produce una variedad de metabolitos secundarios que contribuyen a su actividad biológica y a sus propiedades medicinales. Estos metabolitos secundarios, a diferencia de los metabolitos primarios que son esenciales para el crecimiento y desarrollo del hongo, son producidos en respuesta a estímulos específicos o condiciones ambientales particulares.

Entre los metabolitos secundarios más relevantes en *P. ostreatus* se encuentran los compuestos fenólicos, los flavonoides, los carotenoides y el ergosterol. Los compuestos fenólicos son un grupo diverso de moléculas que se caracterizan por la presencia de uno o más anillos aromáticos con grupos hidroxilo. Estos compuestos son conocidos por su actividad antioxidante, protegiendo a las células del daño causado por los radicales libres. (Cano & Romero, 2016).

Los flavonoides, un subgrupo de los compuestos fenólicos, también presentan actividad antioxidante y se les atribuyen propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas. Los carotenoides son pigmentos que confieren color a muchos alimentos, incluyendo los hongos, y son precursores de la vitamina A. El ergosterol, un tipo de esterol presente en los hongos, es un precursor de la vitamina D. Estos metabolitos secundarios, en conjunto, contribuyen a las propiedades medicinales de *P. ostreatus* y a su potencial como alimento funcional (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

La estructura celular de *P. ostreatus*, observable a través del microscopio, revela detalles importantes sobre su organización y su funcionamiento. El micelio, la parte vegetativa del hongo, está constituido por una red de hifas, filamentos tubulares que se ramifican y se extienden a través del sustrato, buscando nutrientes y explorando el entorno (Piska et al., 2017).

Las hifas, con diámetros de unos pocos micrómetros, son estructuras microscópicas compuestas por células alargadas con paredes celulares de quitina, un polisacárido que les confiere rigidez y protección. La quitina es

un componente estructural clave en la pared celular de los hongos, y su presencia les otorga resistencia y les permite soportar las condiciones ambientales. (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

Los basidios, células reproductivas especializadas de *P. ostreatus*, se desarrollan en las láminas del hongo y son los encargados de producir las esporas. Estas estructuras microscópicas, generalmente con forma de mazo, contienen el material genético necesario para la reproducción y la dispersión del hongo. Los basidios son una característica distintiva de los basidiomicetos, el grupo al que pertenece *P. ostreatus*, y su estudio es fundamental para la comprensión de la biología reproductiva de estos hongos (Piska et al., 2017).

La microscopía, en sus diferentes modalidades, como la microscopía óptica y la microscopía electrónica, permite la visualización detallada de las estructuras celulares de *P. ostreatus*, incluyendo las hifas, los basidios y las esporas. La microscopía óptica, que utiliza luz visible para iluminar la muestra, permite observar la morfología general de las estructuras celulares, mientras que la microscopía electrónica, que utiliza un haz de electrones, proporciona una mayor resolución y permite visualizar detalles a nivel ultraestructural. La microscopía es una herramienta esencial para el estudio de la biología de los hongos, y su aplicación ha permitido avances significativos en la comprensión de su estructura, su funcionamiento y su interacción con el entorno. (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

2.2.3. Contenido nutricional

El valor nutricional de *Pleurotus ostreatus* lo distingue como un alimento funcional con un perfil nutricional excepcional. Su composición, rica en proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales, lo convierte en una opción saludable para complementar la ingesta de nutrientes esenciales y promover el bienestar general (Kalac, 2009, citado en Iber et al., 2022). *P. ostreatus* no solo aporta macronutrientes y micronutrientes esenciales, sino

también una variedad de compuestos bioactivos con potenciales beneficios para la salud, como la lovastatina y la pleuran.

Diversos estudios científicos han analizado y cuantificado los componentes nutricionales de *P. ostreatus*, proporcionando datos concretos que respaldan su valor alimenticio. Estos estudios permiten comparar su perfil nutricional con otras fuentes de alimento, tanto de origen vegetal como animal, y así destacar sus beneficios para la salud humana (Piska et al., 2017).

El conocimiento científico generado a partir de estas investigaciones respalda la importancia de *P. ostreatus* como alimento funcional y justifica su inclusión en una dieta diversificada, contribuyendo a una alimentación balanceada y a la mejora de la salud (Quintana et al., 2024).

Las proteínas son uno de los componentes más destacados del valor nutricional de *P. ostreatus*. Representan entre el 15% y el 35% de su peso seco, una cantidad significativamente alta en comparación con otras fuentes de proteína vegetal (Cano & Romero, 2016). Esta variabilidad en el contenido de proteínas puede ser atribuida a diversos factores, incluyendo la cepa del hongo, el tipo de sustrato utilizado para su cultivo, las condiciones ambientales durante el crecimiento y los métodos de procesamiento posteriores a la cosecha.

El sustrato de cultivo, en particular, influye en la biodisponibilidad de nutrientes para el hongo, lo que a su vez puede afectar su composición final. (Cruz et al., 2020). Estudios como el de Jaramillo et al. (2011, citados en Vélez et al., 2023) han comparado el contenido proteico de *P. ostreatus* con el de productos cárnicos comerciales, encontrando que, en algunos casos, el hongo puede superar a la carne en términos de cantidad de proteína.

Este hallazgo es particularmente relevante para personas que siguen dietas vegetarianas o veganas, ya que *P. ostreatus* puede ser una fuente alternativa de proteína de alta calidad. Además de su cantidad, la calidad de la proteína en *P. ostreatus* también es notable, ya que contiene todos los ami-

noácidos esenciales que el cuerpo humano necesita para su correcto funcionamiento. Los aminoácidos esenciales son aquellos que el organismo no puede sintetizar por sí mismo y que, por lo tanto, deben obtenerse a través de la dieta. La presencia de un perfil completo de aminoácidos esenciales en *P. ostreatus* lo distingue como una fuente de proteína completa y de alta calidad. (Piska et al., 2017).

Los carbohidratos son otro componente importante del perfil nutricional de *P. ostreatus*. Constituyen entre el 57% y el 61% del peso seco del hongo, principalmente en forma de fibra dietética, lo que contribuye a su bajo índice glucémico (Piska et al., 2017). El índice glucémico (IG) es una medida de la rapidez con la que un alimento eleva los niveles de glucosa en sangre.

Los alimentos con un IG bajo, como *P. ostreatus*, liberan glucosa lentamente en el torrente sanguíneo, lo que ayuda a mantener estables los niveles de azúcar en sangre y a prevenir picos de glucosa que pueden ser perjudiciales para la salud. La fibra dietética, un tipo de carbohidrato no digerible por el organismo humano, es un componente esencial de una dieta saludable, ya que promueve la regularidad intestinal, contribuye a la sensación de saciedad y ayuda a controlar los niveles de colesterol en sangre. (Cano & Romero, 2016). La presencia de una alta concentración de fibra dietética en *P. ostreatus* lo convierte en un alimento beneficioso para la salud digestiva y para el control del peso.

P. ostreatus se destaca por su contenido en vitaminas, especialmente las del complejo B, como la tiamina (B1), riboflavina (B2), niacina (B3) y vitamina B12. Estas vitaminas desempeñan un papel fundamental en diversas funciones metabólicas, incluyendo la producción de energía, la síntesis de ADN y el funcionamiento del sistema nervioso (Piska et al., 2017).

La vitamina B12, en particular, es esencial para la formación de glóbulos rojos y el mantenimiento de la salud neurológica, y es de especial importancia para personas que siguen dietas vegetarianas o veganas, ya que es es-

casa en alimentos de origen vegetal (Cano & Romero, 2016). La presencia de vitamina B12 en *P. ostreatus*, aunque en cantidades relativamente bajas, lo convierte en una fuente complementaria de esta vitamina esencial.

En cuanto a su contenido en minerales, *P. ostreatus* es una fuente significativa de potasio, fósforo, magnesio, calcio, hierro, zinc, cobre y selenio (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017; Piska et al., 2017). Estos minerales son esenciales para el correcto funcionamiento del organismo, desempeñando papeles clave en la regulación de la presión arterial, la formación de huesos y dientes, la función inmunitaria y la protección antioxidante.

La presencia de estos minerales en *P. ostreatus*, en concentraciones variables según el sustrato de cultivo y las condiciones ambientales, contribuye a su valor nutricional y lo convierte en un alimento que puede ayudar a cubrir las necesidades diarias de estos micronutrientes (Quintana et al., 2024). Es importante destacar que la biodisponibilidad de los minerales en *P. ostreatus* es relativamente alta, lo que significa que el organismo puede absorberlos y utilizarlos eficientemente.

La influencia del sustrato de cultivo en el contenido nutricional de *P. ostreatus* es un factor relevante que ha sido objeto de diversos estudios científicos. Investigaciones como la de Quintana et al. (2024) han analizado la composición nutricional de *P. ostreatus* y *P. sapidus* cultivados en diferentes sustratos, como la cascarilla de maní y las hojas de mazorca de maíz, demostrando que la elección del sustrato puede afectar la concentración de proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales presentes en el hongo.

Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar el sustrato adecuado para el cultivo de *P. ostreatus*, con el fin de optimizar su valor nutricional y maximizar sus beneficios para la salud. La cascarilla de arroz, por ejemplo, al ser un residuo agroindustrial rico en celulosa y lignina, podría ofrecer un sustrato adecuado para el cultivo de *P. ostreatus* con un perfil nutricional específico.

2.2.4. Técnicas de cultivo

El cultivo de *Pleurotus ostreatus*, hongo comestible de alto valor nutricional, requiere de técnicas específicas que consideren sus necesidades fisiológicas y ambientales para un crecimiento óptimo. Diversos métodos de cultivo se han desarrollado a lo largo del tiempo, adaptándose a diferentes escalas de producción, desde el cultivo artesanal hasta la producción industrial. La elección del método adecuado depende de factores como la disponibilidad de recursos, las condiciones ambientales, la cepa de *P. ostreatus* utilizada y los objetivos de producción. (Paz Pacheco et al., 1998).

Entre las técnicas más comunes se encuentran el cultivo en bolsas, en troncos y en otros sustratos como la cascarilla de arroz. Independientemente del método elegido, es fundamental controlar factores clave como la temperatura, la humedad, la luz y la ventilación para asegurar un crecimiento saludable y una producción abundante de *P. ostreatus*. (Cruz et al., 2010). El conocimiento de las diferentes técnicas de cultivo y la comprensión de los factores que influyen en el crecimiento del hongo son esenciales para el éxito de la producción, tanto a nivel artesanal como industrial (Ruilova & Hernández, 2014).

El cultivo en bolsas es una de las técnicas más utilizadas para la producción de *P. ostreatus*, especialmente a pequeña y mediana escala. Este método, que se adapta a diferentes entornos y requiere una inversión inicial relativamente baja, consiste en llenar bolsas de polietileno con un sustrato adecuado, generalmente una mezcla de residuos agrícolas como paja, aserrín o cascarilla de arroz, previamente pasteurizado o esterilizado para eliminar microorganismos competidores (Quintana et al., 2024).

Una vez llenas, las bolsas se inoculan con el micelio de *P. ostreatus* y se incuban en un ambiente controlado con temperatura, humedad, luz y ventilación óptimas (Cruz et al., 2010). Durante la incubación, el micelio coloniza el sustrato, y después de un período de tiempo, se desarrollan los primordios, que posteriormente se convierten en los cuerpos fructíferos

o setas del hongo. (Angulo et al., 2022). El cultivo en bolsas permite un buen control de las condiciones ambientales y facilita el manejo del cultivo, lo que lo convierte en una técnica eficiente para la producción de *P. ostreatus*. (Restrepo Restrepo, 2020).

El cultivo en troncos es un método tradicional para la producción de *P. ostreatus* que aprovecha la capacidad del hongo para descomponer la madera. Este método, que se utiliza principalmente a pequeña escala, consiste en inocular troncos de madera, generalmente de especies de frondosas, con el micelio de *P. ostreatus* (Piska et al., 2017).

Los troncos, previamente preparados mediante cortes o perforaciones para facilitar la penetración del micelio, se inoculan y se incuban en un ambiente húmedo y sombreado (Cruz et al., 2010). El micelio coloniza la madera, descomponiéndola y obteniendo los nutrientes necesarios para su crecimiento.

Después de un período de tiempo, que puede variar según la especie de madera y las condiciones ambientales, se desarrollan los cuerpos fructíferos (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023). El cultivo en troncos, aunque menos controlado que el cultivo en bolsas, es un método sostenible y de bajo costo que permite obtener setas de alta calidad. (Ruilova & Hernández, 2014).

Además de las técnicas de cultivo en bolsas y troncos, *P. ostreatus* puede ser cultivado en una variedad de otros sustratos, principalmente residuos agroindustriales, lo que contribuye a la valorización de estos desechos y a la reducción del impacto ambiental. Entre los sustratos más utilizados se encuentran la paja de cereales, el aserrín, el bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café y la cascarilla de arroz. (Ruilova & Hernández, 2014).

La elección del sustrato depende de su disponibilidad, costo y composición química, ya que estos factores influyen en el crecimiento y la productividad del hongo (Cruz et al., 2020). Independientemente del sustrato utili-

zado, es fundamental realizar un pretratamiento, como la pasteurización o la esterilización, para eliminar microorganismos competidores y asegurar un crecimiento óptimo de *P. ostreatus* (Quintana et al., 2024).

La fermentación en estado líquido (FEL) es una técnica de cultivo que permite la producción de biomasa de *P. ostreatus* en un medio líquido, generalmente un caldo nutritivo que contiene los nutrientes necesarios para su crecimiento. (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017; Restrepo Restrepo, 2020). Este método, que se utiliza principalmente en investigación y en la producción de compuestos bioactivos, permite un control preciso de las condiciones de cultivo, como la temperatura, el pH, la aireación y la agitación (Angulo et al., 2022). La FEL ofrece ventajas como la alta productividad de biomasa y la posibilidad de obtener extractos ricos en compuestos bioactivos, pero requiere una mayor inversión en equipos y un control más riguroso de las condiciones de cultivo que los métodos tradicionales.

El cultivo semisólido, descrito por González (2018), es una técnica que combina las ventajas del cultivo sólido y líquido. En este método, *P. ostreatus* crece en un sustrato sólido con un alto contenido de humedad, lo que favorece la producción de enzimas y metabolitos secundarios. El cultivo semisólido, que se utiliza principalmente para la producción de enzimas lignocelulolíticas con aplicaciones en la biodegradación de residuos agroindustriales, ofrece un buen equilibrio entre la facilidad de manejo del cultivo sólido y la alta productividad del cultivo líquido.

Independientemente del método de cultivo empleado, existen una serie de factores ambientales que influyen en el crecimiento y la productividad de *P. ostreatus*. La temperatura es un factor crítico, ya que el hongo tiene un rango óptimo de crecimiento entre 20°C y 30°C, aunque algunas cepas pueden tolerar temperaturas más altas o más bajas. (Piska et al., 2017).

La humedad también es esencial, ya que *P. ostreatus* requiere un ambiente húmedo para un desarrollo adecuado. La luz, aunque no es necesaria para

el crecimiento micelial, es importante para la fructificación, y la ventilación adecuada es fundamental para evitar la acumulación de dióxido de carbono, que puede inhibir el crecimiento del hongo. (Cruz et al., 2010). El control de estos factores ambientales es crucial para optimizar las condiciones de cultivo y maximizar la producción de *P. ostreatus*.

2.3. La cascarilla de arroz y el *Pleurotus ostreatus*

La cascarilla de arroz, un subproducto abundante de la industria arroceras, se presenta como un sustrato prometedor para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, ofreciendo una solución sostenible a la problemática de la gestión de residuos agrícolas y la producción de alimentos. Su composición rica en lignina, celulosa y hemicelulosa, la convierte en un medio ideal para el crecimiento del hongo, que posee la capacidad enzimática para degradar estos polímeros complejos. (González, 2018).

El bajo costo, la abundancia y el potencial para la reducción del impacto ambiental son ventajas adicionales que justifican su uso. Sin embargo, la necesidad de un pretratamiento adecuado y el control de la contaminación son desafíos que deben ser abordados para optimizar el proceso de cultivo. (Cruz et al., 2020).

La cascarilla de arroz, al ser un residuo lignocelulósico, presenta una estructura compleja y resistente que requiere de un pretratamiento para facilitar la accesibilidad de los hongos a los nutrientes (Chung, 2020). Este pretratamiento puede consistir en procesos físicos, químicos o biológicos que descompongan la lignina, la celulosa y la hemicelulosa, haciéndolas más fácilmente asimilables por el hongo. (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023).

La composición de la cascarilla de arroz, rica en lignina (15-20%), celulosa (28-35%) y hemicelulosa (12-29%), la convierte en un sustrato ideal para el crecimiento de *P. ostreatus*, un hongo con una alta capacidad para degradar estos componentes estructurales de la pared celular de las plantas. (Ruilova & Hernández, 2014).

La lignina, un polímero complejo que confiere rigidez y resistencia a las plantas, es degradada por las enzimas ligninolíticas producidas por el hongo, como la lacasa, la manganeso peroxidasa y la lignina peroxidasa (Piska et al., 2017). La celulosa, el polisacárido más abundante en la naturaleza, es descompuesta por las celulasas, como la endoglucanasa y la exoglucanasa. (González, 2018).

La hemicelulosa, un polímero más complejo que la celulosa, es degradada por las hemicelulasas. La capacidad de *P. ostreatus* para degradar estos tres componentes de la cascarilla de arroz, no solo le permite obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento, sino que también contribuye a la descomposición de este residuo agrícola, reduciendo su volumen y su impacto ambiental (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

Las ventajas del uso de la cascarilla de arroz como sustrato para el cultivo de *P. ostreatus* son numerosas. En primer lugar, se trata de un residuo abundante y de bajo costo, lo que reduce significativamente los costos de producción (Cruz et al., 2020). En segundo lugar, su utilización contribuye a la gestión de residuos agrícolas, reduciendo la acumulación de biomasa y su impacto ambiental (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023). En tercer lugar, el cultivo de *P. ostreatus* en cascarilla de arroz permite obtener un alimento rico en proteínas, vitaminas y minerales, contribuyendo a la seguridad alimentaria (Piska et al., 2017).

A pesar de sus ventajas, el uso de la cascarilla de arroz como sustrato para el cultivo de *P. ostreatus* también presenta desafíos. Uno de los principales es la necesidad de un pretratamiento, ya que la cascarilla de arroz cruda puede contener microorganismos contaminantes o inhibidores del crecimiento fúngico (Chung, 2020). El pretratamiento, que puede consistir en procesos físicos, químicos o biológicos, busca eliminar estos contaminantes y mejorar la accesibilidad de los nutrientes para el hongo.

Otro desafío es el control de la contaminación durante el cultivo, ya que las condiciones de alta humedad y temperatura favorecen el crecimiento

de otros microorganismos, como bacterias y mohos. (González, 2018). La implementación de buenas prácticas de higiene y el monitoreo constante del cultivo son esenciales para prevenir y controlar la contaminación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

3.1. Aspectos metodológicos

La metodología empleada en la investigación de Fragoso (2024) sobre la producción de *Pleurotus ostreatus* a partir de cascarilla de arroz se fundamentó en un diseño experimental riguroso y en la aplicación de técnicas analíticas precisas para la cuantificación de la proteína unicelular. La selección de la cepa de *P. ostreatus*, el diseño experimental, el tratamiento del sustrato, las condiciones de cultivo, la evaluación de la productividad y las determinaciones analíticas se llevaron a cabo con el objetivo de obtener resultados confiables y reproducibles. (Sampieri, 2018). La metodología se estructuró de manera que se pudieran evaluar los efectos de diferentes factores, como la temperatura y el pH, sobre el crecimiento y la producción de proteína del hongo.

Se utilizó la cepa PO4 de *Pleurotus ostreatus*, proporcionada por la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ). Esta cepa, previamente adaptada a las condiciones de crecimiento en cascarilla de arroz, se man-

tuvo en el medio de cultivo YGC para asegurar su viabilidad y pureza. La elección de una cepa adaptada al sustrato es fundamental para maximizar la eficiencia del proceso de bioconversión, ya que la cepa PO4, al estar familiarizada con la cascarilla de arroz, tiene mayor probabilidad de degradarla eficientemente y de producir una mayor cantidad de proteína unicelular.

El medio de cultivo YGC, que contiene extracto de levadura, glucosa y cloranfenicol, proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento y la multiplicación del micelio fúngico (López et al., 2008). Mantener la cepa en este medio específico aseguró su viabilidad y permitió obtener un inóculo de alta calidad para la siembra.

El diseño experimental se basó en un factorial 3x3 en un diseño completamente al azar (DCA), considerando los factores temperatura y pH (Sampieri, 2018). Se evaluaron tres niveles de temperatura (20, 22 y 25°C) y tres niveles de pH (4, 5 y 6), con cinco réplicas para cada combinación de tratamientos, resultando en un total de 45 unidades experimentales.

La elección de un diseño factorial permite evaluar el efecto de cada factor individualmente, así como el efecto de su interacción sobre la variable de respuesta, en este caso, la producción de proteína unicelular. La selección de los niveles de temperatura se basó en estudios previos que indican que *P. ostreatus* crece de manera óptima en un rango de temperatura entre 20 y 30°C. La inclusión del nivel de 25°C se justificó por ser la temperatura óptima de crecimiento para la mayoría de las cepas de *P. ostreatus*, mientras que los niveles de 20°C y 22°C permitieron evaluar la capacidad de adaptación del hongo a temperaturas ligeramente inferiores.

La elección de los niveles de pH se basó en la necesidad de evaluar el efecto de la acidez del medio sobre el crecimiento y la actividad enzimática del hongo. El pH óptimo para *P. ostreatus* se encuentra en un rango entre 5.5 y 7.0. Los niveles de pH 4, 5 y 6 permitieron evaluar el comportamiento del hongo en condiciones de acidez variable, desde un pH ligeramente ácido (6) hasta un pH más ácido (4), cubriendo un rango que incluye el

pH óptimo. La inclusión de cinco réplicas por tratamiento se realizó para aumentar la precisión de los resultados y reducir el error experimental, garantizando la confiabilidad de las conclusiones (Hernández , Fernández, & Baptista, 2010)

El tratamiento del sustrato, la cascarilla de arroz, se realizó en varias etapas para garantizar su adecuación como medio de cultivo para *P. ostreatus*. En primer lugar, se molió la cascarilla de arroz utilizando una cortadora eléctrica de forraje hasta obtener un tamaño de partícula entre 1 y 2 mm.

Este proceso de molienda tiene como objetivo aumentar la superficie de contacto del sustrato, facilitando la colonización del micelio fúngico y la degradación de los componentes lignocelulósicos. Posteriormente, se hidrató la cascarilla molida en agua durante 24 horas. La hidratación permite la rehidratación de la cascarilla y la eliminación de posibles inhibidores del crecimiento fúngico.

Luego de la hidratación, se dividió la cascarilla de arroz en tres grupos, y se ajustó el pH de cada grupo a 4, 5 y 6, respectivamente, utilizando ácido clorhídrico 0.1N para los valores de pH 4 y 5, e hidróxido de sodio 0.1N para el pH 6. El ajuste del pH del sustrato es fundamental para optimizar el crecimiento del hongo, ya que *P. ostreatus* se desarrolla mejor en un medio ligeramente ácido. Una vez ajustado el pH, se llenaron bolsas de polietileno resistentes al calor con 250 gramos de cascarilla de arroz hidratada para cada uno de los tres niveles de pH.

La cantidad de sustrato por bolsa se determinó con base en estudios previos y en la capacidad de las bolsas utilizadas. Finalmente, se esterilizaron las bolsas con cascarilla de arroz en autoclave a 121°C y 15 libras de presión durante 20 minutos. La esterilización en autoclave elimina microorganismos que pudieran competir con *P. ostreatus* por los nutrientes del sustrato, garantizando así un crecimiento óptimo del hongo (Méndez, et al., 2005).

El cultivo del hongo *P. ostreatus* se llevó a cabo en los Laboratorios de Microbiología de la Universidad Popular del Cesar, bajo condiciones controladas de temperatura, pH y humedad. Una vez esterilizadas las bolsas con cascarilla de arroz, se procedió a la siembra del hongo, utilizando una espátula estéril para colocar 2.5 gramos de inóculo (1% del peso húmedo del sustrato) en cada bolsa. Se realizaron cinco réplicas para cada uno de los nueve tratamientos (tres niveles de temperatura x tres niveles de pH).

Las bolsas inoculadas se incubaron en oscuridad a temperaturas de 20, 22 y 25°C, con humedades relativas entre 72% y 86%, durante un período de 21 días. La oscuridad durante la incubación favorece el crecimiento vegetativo del micelio, mientras que la temperatura y la humedad se mantuvieron dentro del rango óptimo para el desarrollo de *P. ostreatus*. La cantidad de inóculo (2.5g) se determinó con base en estudios previos y en las recomendaciones para el cultivo de este hongo (Bernardi et al, 2013, citado en Raman et al., 2021).

La evaluación de la productividad del cultivo se basó en el monitoreo diario, durante 21 días, de variables clave como la humedad relativa, la temperatura y el pH. Estas mediciones, realizadas diariamente, permitieron evaluar las condiciones ambientales dentro de las bolsas de cultivo y detectar posibles desviaciones de los valores óptimos para el crecimiento de *P. ostreatus*.

En los casos en que se observaron variaciones en el pH del sustrato, se realizaron ajustes utilizando soluciones de ácido clorhídrico 0.1N o hidróxido de sodio 0.1N, según fuera necesario, para mantener el pH dentro del rango óptimo. El monitoreo constante de estas variables es esencial para asegurar un crecimiento saludable del hongo y maximizar la producción de proteína unicelular. (Martínez-Carrera et al., 2010).

Las determinaciones analíticas se realizaron para cuantificar los diferentes componentes de la cascarilla de arroz, tanto antes como después del cultivo de *P. ostreatus*. Para la determinación de la materia seca total (MST), fibra

neutra detergente (FND), fibra ácida detergente (FAD), celulosa, hemicelulosa y lignina, se utilizó el método de Van Soest, un método estandarizado para el análisis de fibra en alimentos y forrajes (Van Soest, Robertson, & Lewis, 1991).

Este método permite cuantificar los diferentes componentes de la fibra, lo que proporciona información valiosa sobre la degradación del sustrato por el hongo. Para la determinación de proteína, se utilizó el método de Kjeldahl, un método clásico para la cuantificación de nitrógeno en muestras orgánicas (Nielsen, 2010).

El método de Kjeldahl se basa en la digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado, la destilación del amoníaco liberado y su posterior titulación. Los resultados de estas determinaciones analíticas se expresaron en base seca, es decir, se calculó el porcentaje de cada componente con respecto al peso seco de la muestra, para eliminar la influencia del contenido de agua y permitir una comparación precisa entre los diferentes tratamientos.

3.2. Hallazgos

El análisis proximal de la cascarilla de arroz reveló su composición inicial antes del cultivo de *Pleurotus ostreatus*, proporcionando información clave sobre su potencial como sustrato. La Tabla 1 muestra los valores promedios de proteína cruda, materia seca total, fibra neutra detergente (FND), fibra ácida detergente (FAD), celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos datos sirvieron como base para la posterior evaluación de la degradación de la biomasa y el incremento en el contenido de proteína a lo largo del experimento.

Tabla 10. *Análisis proximal de la cascarilla de arroz (Oryza sativa).*

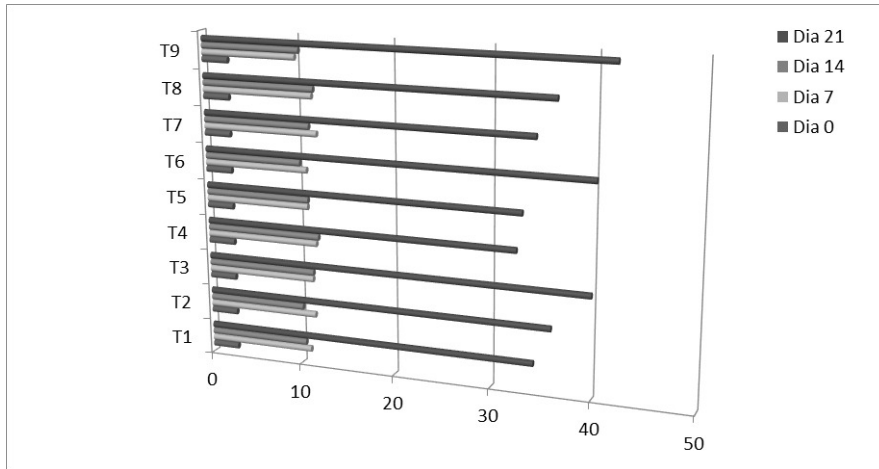
Composición	Residuo (% base seca)
Comercial	98696,736 COP
Económico	42722,936 COP
Proteína Cruda	2.74
Materia Seca Total	92.85
Fibra Neutra Detergente	81.74
Fibra Ácida Detergente	73.73
Celulosa	52.08
Hemicelulosa	8.01
Lignina	21.65

Nota: Tabla obtenida de la tesis de Fragoso (2024).

3.3. Estructura gubernamental

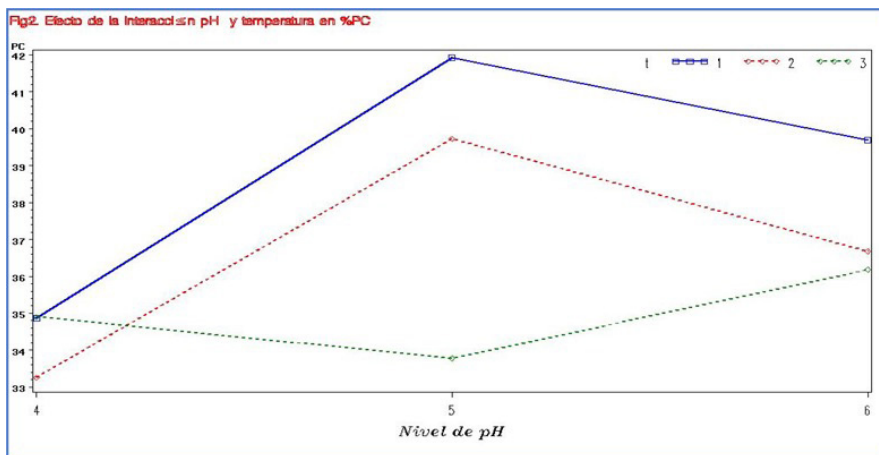
La Figura 1 muestra el incremento porcentual de proteína generada por *P. ostreatus* sobre el sustrato de cascarilla de arroz a lo largo del tiempo de cultivo (21 días) para cada uno de los nueve tratamientos. El análisis de varianza y la prueba de Tukey, realizados con un nivel de significancia del 5%, permitieron identificar los tratamientos con mayor producción de proteína y determinar si existían diferencias significativas entre ellos. La desviación estándar se incluyó para mostrar la variabilidad de los datos dentro de cada tratamiento.

Figura 7. Incremento en % de proteína generada por el hongo *Pleurotus ostreatus* sobre el sustrato cascarilla de arroz.



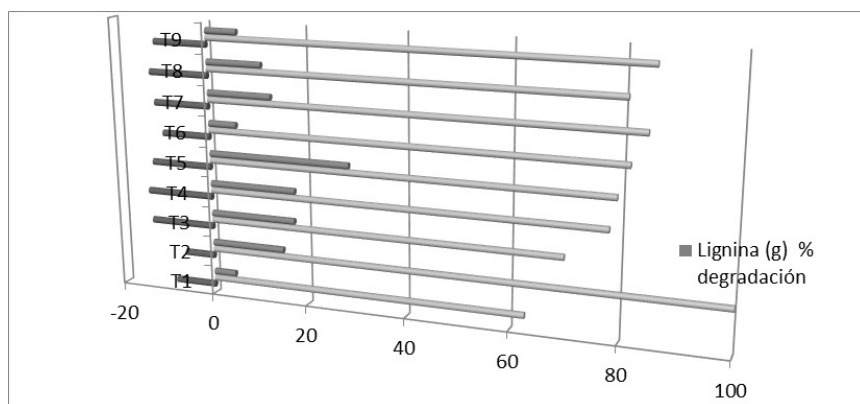
El efecto de la interacción entre el pH y la temperatura sobre la producción de proteína se presenta en la Figura 2. Este Figuramuestra cómo la combinación de diferentes niveles de pH y temperatura afecta el crecimiento y la productividad de *P. ostreatus*.

Figura 8. Efecto de interacción pH y temperatura para la producción de proteína



La degradación de los componentes estructurales de la cascarilla de arroz (lignina, celulosa y hemicelulosa) por la cepa *P. ostreatus* se muestra en la Figura 3. Este Figuraiustra los cambios en la composición del sustrato a lo largo del tiempo de cultivo, indicando la capacidad del hongo para degradar estos polímeros.

Figura 9. Degradación de componentes estructurales de la cascarilla de arroz por el Hongo *Pleurotus ostreatus*.



3.3. Discusión de resultados

La discusión de los resultados obtenidos en la investigación de Fragoso (2024) sobre la producción de proteína unicelular a partir de cascarilla de arroz utilizando *Pleurotus ostreatus* requiere un análisis detallado y una comparación rigurosa con la literatura existente.

Este análisis debe considerar la composición proximal de la cascarilla de arroz, la producción de proteína en los diferentes tratamientos, la influencia del pH y la temperatura en el crecimiento y la productividad de *P. ostreatus*, y la degradación de los componentes estructurales del sustrato.

Es fundamental contrastar los hallazgos de la investigación con los de otros estudios que hayan utilizado cascarilla de arroz u otros sustratos similares para el cultivo de *P. ostreatus*, con el fin de identificar patrones,

discrepancias y posibles explicaciones para las observaciones. (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023).

Además, se debe profundizar en los mecanismos bioquímicos y fisiológicos que subyacen a los resultados obtenidos, considerando el rol de las enzimas lignocelulolíticas en la degradación del sustrato y la influencia de los factores ambientales en el crecimiento y la productividad del hongo.

La composición proximal de la cascarilla de arroz, determinada al inicio del estudio, es un factor clave para comprender su potencial como sustrato para el cultivo de *P. ostreatus*. Los resultados obtenidos por Fragoso (2024), presentados en la Tabla 1, muestran valores de celulosa, lignina y otros componentes similares a los reportados por Valverde y Monteagudo (2007, citados en Suriapparao et al., 2022) para la cascarilla de arroz.

Esta consistencia en los resultados sugiere que la cascarilla de arroz utilizada en el estudio presentaba una composición típica y comparable a la de otros estudios. Sin embargo, es fundamental considerar que la composición proximal de la cascarilla de arroz puede verse influenciada por una variedad de factores, incluyendo la variedad de arroz, las condiciones de cultivo, el método de molienda, el tiempo y las condiciones de almacenamiento (Ruilova & Hernández, 2014).

Estos factores pueden afectar la estructura física y química del sustrato, influyendo en su degradabilidad y en la disponibilidad de nutrientes para el hongo. El alto contenido de celulosa (52.08%) y lignina (21.65%) observado en el estudio de Fragoso (2024) es particularmente relevante, ya que estos polímeros son los principales componentes estructurales de la cascarilla de arroz y representan una fuente importante de carbono y energía para *P. ostreatus*. La capacidad de este hongo para degradar la celulosa y la lignina, mediante la secreción de enzimas celulolíticas y ligninolíticas, es un factor clave para su crecimiento y productividad en este sustrato. (Cruz et al., 2020).

La producción de proteína unicelular por *P. ostreatus*, uno de los objetivos principales de la tesis de Fragoso (2024), mostró una fuerte dependencia de la temperatura y el pH del medio de cultivo. El tratamiento T9 (25°C y pH 6), como se muestra en la Figura 1, alcanzó la mayor producción de proteína (41.9%) en el día 21.

Este resultado indica que la combinación de una temperatura de 25°C y un pH de 6 crea las condiciones óptimas para el crecimiento y la actividad metabólica de la cepa PO4 de *P. ostreatus* utilizada en el estudio, maximizando la síntesis de proteína. El tratamiento T6 (22°C y pH 6), con un 40.17% de proteína, también mostró un rendimiento considerable, lo que sugiere que una temperatura ligeramente inferior a la óptima no afecta significativamente la productividad del hongo. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que han demostrado que *P. ostreatus* crece de manera óptima en un rango de temperatura entre 20 y 30°C, con un pH óptimo alrededor de 6.0 (Cruz et al., 2010).

Sin embargo, el tratamiento T4 (22°C y pH 4), con una producción de proteína significativamente menor (32.5%), evidencia la importancia del control del pH en el cultivo. Un pH de 4, demasiado ácido para *P. ostreatus*, inhibe la actividad de las enzimas involucradas en la degradación del sustrato y la síntesis de proteína, lo que resulta en una menor productividad. (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

Estos resultados corroboran la importancia de mantener el pH del medio de cultivo dentro del rango óptimo para maximizar el crecimiento y la producción de *P. ostreatus*. Es importante destacar que el efecto de la temperatura y el pH sobre el crecimiento fúngico no siempre es lineal y puede variar según la cepa del hongo, el sustrato utilizado y otros factores ambientales. Estudios como el de Angulo et al. (2022) han evaluado el crecimiento de *P. ostreatus* en diferentes medios de cultivo y han observado variaciones significativas en la tasa de crecimiento y la producción de biomasa.

La degradación de los componentes estructurales de la cascarilla de arroz por *P. ostreatus*, mostrada en la Figura 3 de la tesis, es un indicador de la actividad enzimática del hongo y su capacidad para utilizar este residuo agroindustrial como fuente de carbono y energía. La hemicelulosa, como se observó en el estudio, fue el polímero que experimentó la mayor degradación durante la fermentación.

Este resultado indica que *P. ostreatus* prioriza la degradación de la hemicelulosa sobre la lignina y la celulosa, posiblemente debido a la mayor facilidad con la que sus enzimas pueden acceder a este polisacárido. (González, 2018). La degradación de la hemicelulosa es un proceso importante en la bioconversión de la cascarilla de arroz, ya que libera azúcares simples que pueden ser utilizados por el hongo como fuente de energía.

La degradación de la lignina, un polímero complejo y resistente, también se observó en el estudio, aunque en menor grado que la hemicelulosa. La lignina es un componente estructural clave en la pared celular de las plantas, y su degradación por *P. ostreatus* es esencial para la liberación de la celulosa y otros carbohidratos. (Piska et al., 2017). El hongo produce un conjunto de enzimas ligninolíticas, como la lacasa, la manganeso peroxidasa y la lignina peroxidasa, que actúan sinérgicamente para romper los enlaces químicos de la lignina.

La degradación de la celulosa, el polisacárido más abundante en la cascarilla de arroz, fue mínima en el estudio de Fragoso (2024), lo que es consistente con el hecho de que *P. ostreatus*, al igual que otros hongos de pudrición blanca, sintetiza su propia celulosa para la formación de sus estructuras celulares, reduciendo así su necesidad de degradarla a partir del sustrato. (González, 2018).

Esta estrategia le permite al hongo conservar energía y optimizar el uso de los recursos disponibles. Es importante señalar que la degradación de la lignina, la celulosa y la hemicelulosa no son procesos independientes,

sino que están interconectados. La degradación de un componente puede influir en la degradación de los otros, debido a la compleja estructura de la pared celular vegetal y a la interacción entre los diferentes polímeros (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017).

3.4. Conclusiones

La investigación realizada por Fragoso (2024) demostró la viabilidad de la cascarilla de arroz como sustrato para la producción de proteína unicelular mediante el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Se confirmó que la cepa PO4 de *P. ostreatus* es capaz de crecer y producir proteína en este sustrato, alcanzando rendimientos significativos bajo condiciones controladas de temperatura y pH.

El tratamiento T9 (25°C y pH 6) se destacó como el más eficiente para la producción de proteína, alcanzando un 41.9% en el día 21 de cultivo. Este hallazgo resalta la importancia de optimizar las condiciones de cultivo para maximizar la productividad del hongo. La influencia del pH y la temperatura en el crecimiento y la productividad de *P. ostreatus* fue evidente, demostrando la necesidad de controlar estos factores para obtener resultados óptimos.

La degradación de la hemicelulosa como principal fuente de carbono por parte del hongo confirmó su capacidad para utilizar los componentes estructurales de la cascarilla de arroz, contribuyendo a su bioconversión. La obtención de un producto bioconvertido con un aceptable valor nutricional, a partir de un residuo agroindustrial abundante como la cascarilla de arroz, representa una alternativa prometedora para la producción sostenible de alimentos y la gestión de residuos.

El estudio cumplió con su objetivo general de obtener proteína unicelular a partir de la cascarilla de arroz utilizando *Pleurotus ostreatus*, demostrando el potencial de este hongo para la valorización de residuos agroindustriales y la producción de alimentos ricos en proteína.

RETOS Y REFLEXIONES FINALES

La investigación sobre la producción de proteína unicelular a partir de cascarilla de arroz utilizando *Pleurotus ostreatus* trasciende los hallazgos específicos y plantea reflexiones de mayor alcance sobre la valorización de residuos agroindustriales, la seguridad alimentaria y las oportunidades biotecnológicas. La cascarilla de arroz, un subproducto abundante de la industria arroceras, generalmente descartado sin un aprovechamiento adecuado, se convierte, gracias a esta investigación, en una fuente valiosa de proteína unicelular.

Este enfoque sostenible no solo reduce el impacto ambiental asociado a la acumulación de residuos agrícolas, sino que también ofrece una alternativa para la producción de alimentos ricos en proteínas, contribuyendo a la seguridad alimentaria. La investigación abre nuevas perspectivas para la valorización de otros residuos agroindustriales, promoviendo la economía circular y la sostenibilidad en el sector agrícola.

La valorización de residuos agroindustriales, como la cascarilla de arroz, es un aspecto fundamental para la sostenibilidad del sector agrícola y la protección del medio ambiente. La acumulación de estos residuos genera problemas ambientales, como la contaminación del suelo y del agua, y la emisión de gases de efecto invernadero.

La investigación demostró que la cascarilla de arroz, en lugar de ser un desecho, puede ser transformada en un producto de valor agregado: proteína unicelular. Este enfoque de bioconversión, mediante el uso de *P. ostreatus*, no solo permite el aprovechamiento de un residuo abundante y de bajo costo, sino que también reduce la necesidad de utilizar recursos naturales para la producción de alimentos y contribuye a la mitigación del cam-

bio climático. (Chegwin & Nieto, 2013, citados en Pineda et al., 2017). La valorización de residuos agroindustriales es un pilar fundamental de la bioeconomía, promoviendo la innovación y la sostenibilidad en el sector agrícola.

P. ostreatus, con su alta capacidad para crecer en diferentes sustratos, incluyendo residuos agroindustriales, y su elevado contenido de proteína, se presenta como una fuente prometedora de proteína unicelular para la alimentación humana y animal. La investigación, al demostrar la viabilidad de la producción de proteína unicelular a partir de cascarilla de arroz utilizando *P. ostreatus*, abre nuevas perspectivas para la seguridad alimentaria y la diversificación de la dieta. (Piska et al., 2017).

La proteína unicelular, obtenida a partir de microorganismos como los hongos, es una fuente alternativa de proteína de alta calidad, con un perfil de aminoácidos esenciales que puede complementar las fuentes tradicionales de proteína. (Cruz et al., 2020). Este enfoque es particularmente relevante en el contexto de la creciente demanda mundial de proteína y la necesidad de encontrar alternativas sostenibles y de bajo impacto ambiental.

El cultivo de *P. ostreatus* en cascarilla de arroz, aunque prometedor, también presenta desafíos y oportunidades que deben ser considerados. La investigación identificó la temperatura y el pH como factores clave que influyen en la producción de proteína, lo que resalta la importancia de optimizar las condiciones de cultivo. La necesidad de un pretratamiento de la cascarilla de arroz para eliminar contaminantes e inhibidores, y el control de la contaminación durante el cultivo, son aspectos cruciales que requieren mayor investigación. (Chung, 2020).

La optimización del pretratamiento, la selección de cepas de *P. ostreatus* más eficientes en la degradación de la cascarilla de arroz, y el desarrollo de sistemas de cultivo más eficientes y sostenibles, son áreas de investigación futuras que podrían mejorar la productividad y la rentabilidad de este proceso. (Jaramillo et al., 2011, citados en Vélez et al., 2023). Además, es

importante considerar la posibilidad de integrar el cultivo de *P. ostreatus* en sistemas de producción más amplios, como la agricultura circular, para maximizar el aprovechamiento de los recursos y minimizar el impacto ambiental.

La cascarilla de arroz tratada con *P. ostreatus*, una vez que el hongo ha degradado parte de su lignina, celulosa y hemicelulosa, puede tener aplicaciones en diversas áreas más allá de la producción de proteína unicelular. Su uso como sustrato para la producción de biocombustibles, como el bioetanol, es una posibilidad que ha sido explorada en diversos estudios. La degradación de la lignina y la celulosa por *P. ostreatus* facilita la liberación de azúcares fermentables que pueden ser convertidos en bioetanol mediante procesos de fermentación. (González, 2018). Otra aplicación potencial es su uso en la alimentación animal. La cascarilla de arroz tratada con *P. ostreatus*, con un contenido reducido de lignina y un mayor contenido de proteína, podría ser utilizada como un suplemento alimenticio para animales, mejorando su digestibilidad y su valor nutricional. (Ruilova & Hernández, 2014). Estas aplicaciones alternativas contribuyen a la valorización integral de la cascarilla de arroz y a la creación de una economía circular en el sector agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, R., Urioste, S., Alvarez, M., Generale, G., & Gonzalez, C. (2022). *Producción de arroz en Colombia: investigación para fortalecerse* [Presentación de diapositivas]. Alianza Bioversity-CIAT y FLAR. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/121124/presentation.pdf?sequence=1>
- Angulo, F., Mamani, B., & Nova, M. (2022). Crecimiento in vitro de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en diferentes medios de cultivo. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(1), 14–22. <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/216>
- Bernardi, E., Minotto, E., & Nascimento, J. (2013). Evaluation of growth and production of *Pleurotus sp.* in sterilized substrates. *Arquivos do Instituto Biológico*, 80(3), 318–324. <https://www.scielo.br/j/aib/al/V89FKDFZPHcvDhzNsQGw3zm/?lang=en>
- Cano, A., & Romero, L. (2016). Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 75–80. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182016000100011&script=sci_arttext&tlng=pt

- Castillo, R. (2019). *Producción de proteína unicelular a partir de Arthrospira maxima* [Tesis de grado, Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/727>
- Castro, F., Hyman, G., Rubiano, J., Ramirez, J., & Achicanoy, H. (2019). Climate change favors rice production at higher elevations in Colombia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 1401-1430. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-019-09852-x>
- Chegwin, C., & Nieto, I. (2013). Influencia del medio de cultivo en la producción de metabolitos secundarios del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* cultivado por fermentación en estado líquido empleando harinas de cereales como fuente de carbono. *Revista Mexicana de Micología*, 37, 1–9. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-31802013000100002&script=sci_arttext
- Chung, P. (2020). Captura, aislación y evaluación del crecimiento de material fúngico de la región de Ñuble para su incorporación al banco de hongos comestibles del Instituto Forestal. *Ciencia e Investigación Forestal*, 26(3), 65–92. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/30370>
- Cruz, D., Capa, D., Maza, D., Ojeda, R., & Benitez, Á. (2020). Producción y valor proteico de *Pleurotus ostreatus* en la región sur de Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12(2), 34–43. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/1806>
- DANE. (2022). *Boletín técnico: Producción de arroz. Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/arroz/boletin_ENAM_IIssem22.pdf

- FAO. (2011). *The state of food and agriculture 2010-2011*. FAO. <https://www.fao.org/4/i2050e/i2050e00.htm>
- FAO. (2023). *FAOSTAT statistical database*. https://www.destatis.de/EN/Themes/Countries-Regions/International-Statistics/DataSources/45_01_FAO_Data.html
- Fragoso, P. (2024). *Producción de Pleurotus ostreatus a partir de cascarilla de arroz*. [Tesis de pregrado, Universidad Popular del Cesar].
- Gamboa, J., Márquez, J., & Godínez, D. (2023). Producción masiva de microorganismos para la obtención de proteína sustentable con alto valor biológico. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 30(3). <https://www.redalyc.org/journal/104/10475688012/10475688012.pdf>
- González, C. (2018). *Estudio de la actividad enzimática de Pleurotus ostreatus en la deslignificación de cascarilla de arroz en cultivo semi-sólido* [Trabajo de grado de Ingeniería Química, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/06092012-cedb-4b8a-95b5-450cb8cf2705>
- Iber, B., Kasan, N., Torsabo, D., & Omuwa, J. (2022). A review of various sources of chitin and chitosan in nature. *Journal of Renewable Materials*, 10(4), 1097. <https://www.academia.edu/download/83160183/pdf.pdf>
- Jaramillo, D., Yepes, L., Hincapié, G., Velásquez, A., & Vélez, L. (2011). Desarrollo de productos a partir de la orellana (*Pleurotus ostreatus*). *Revista Investigaciones Aplicadas*, 5(2), 82–91. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/7048>

- Kalac, P. (2009). Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1323–1330. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608009229>
- Paredes, M., & Becerra, V. (2015). Producción de arroz: Buenas prácticas agrícolas (BPA) (Boletín INIA N.º 306). *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/20.500.13082/31864/1/Boletin_INIA_306.pdf
- Pineda, J., Gómez, W., Duarte, A., Soto, C. Pineda, C., Fierro, F., & Álvarez-, S. (2017). Producción de *Pycnoporus* spp. y sus metabolitos secundarios: Una revisión. ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(2), 60-69. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251010.pdf>
- Piska, K., Sułkowska, K., & Muszyńska, B. (2017). Edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom) – its dietary significance and biological activity. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 16(1), 151–161. https://ruj.uj.edu.pl/bitstream/handle/item/139916/piska_et-al_edible_mushroom_pleurotus_ostreatus_oyster_mushroom_2017.pdf?sequence=1
- Quintana, J., Parrales, M., Vera, J., Tigselema, S., & Cabrera, R. (2024). Valor nutricional de hongos (*Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus sapidus*) producidos en residuos agrícolas de maíz y maní. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 8(1), 75–82. <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/771>
- Raman, J., Jang, K., Oh, Y., Oh, M., Im, J., Lakshmanan, H., & Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and nutritional value of prominent

- Pleurotus* spp.: an overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/12298093.2020.1835142>
- Ribó, M., Albiach, R., Pomares, F., & Canet, R. (2017). *Alternativas de gestión de la paja de arroz en la Albufera de Valencia (Nota Técnica)*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. <http://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/5895>
- Ruilova, M., & Hernández, A. (2014). Evaluación de residuos agrícolas para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*. ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(1), 54–59. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223131337008.pdf>
- Sanint, L. (2010). Nuevos retos y grandes oportunidades tecnológicas para los sistemas arroceros: Producción, seguridad alimentaria y disminución de la pobreza en América Latina y el Caribe. En V. Degiovanni, C. P. Martínez, & F. Motta (Eds.), *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina* (Tomo I, pp. 3–13). Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/10568/82428/1/nuevos-dda5484b.pdf>
- Suriapparao, D., Kumar, D., & Vinu, R. (2022). Microwave co-pyrolysis of PET bottle waste and rice husk: effect of plastic waste loading on product formation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 49, 101781. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821007955>
- Valverde, A., & Monteagudo, J. (2007). Análisis comparativo de las características físico químicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 13(37). <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903743.pdf>

Vélez, T., Orozco, N., Manjarrés, G., Manjarrés, K., Gil, J., & Rodríguez, E. (2023). Physicochemical, antioxidant, and technofunctional properties of mushroom (*Pleurotus sp*) flour obtained by hot air drying. *Dyna*, 90(225), 85-94. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532023000100085&script=sci_arttext&tlng=en

Zedeño, A., Carbonell, B., & Avalo, Y. (2014). Evaluación agronómica y medioambiental del uso de la paja de arroz como sustrato en la producción de biogás. *Ciencia e Interculturalidad*, 15(2), 137–145.



EDITORIAL
NAVEGANTE