



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Evaluación de la producción de *Pleurotus ostreatus* en residuos de café como alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR

Luis Ivan DE LA CRUZ SALAZAR

ASESOR

Dr. Alberto HUIMAN CRUZ

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

De la Cruz, L. (2024). *Evaluación de la producción de Pleurotus ostreatus en residuos de café como alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Luis Ivan De la Cruz Salazar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73107665
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0005-9358-2111
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Alberto Huiman Cruz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41459167
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5507-9903
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Jorge Luis López Bulnes
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08153969
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Martha Kelly Avilés Pavón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41449368
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	José Raúl López Kohler
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	21079898
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.8. Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Amazonas Provincia: Rodríguez de Mendoza Distrito: Longar Centro poblado: Caserío Shucush Latitud: -6.393753 Longitud: -77.569304
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021 - 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería ambiental y geológica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01 Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08 Biotecnología ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.08.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; el día 07 de noviembre del año 2024, siendo las 14:30 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Dr. JORGE LUIS LÓPEZ BULNES

(Presidente del Jurado)

Mg. MARTHA KELLY AVILÉS PAVÓN

(Miembro del Jurado)

Dr. JOSÉ RAÚL LOPEZ KOHLER

(Miembro del Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación del Tesista Bachiller LUIS IVAN DE LA CRUZ SALAZAR quien sustento la Tesis Titulada:

"EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PLEUROTUS OSTREATUS EN RESIDUOS DE CAFÉ COMO ALTERNATIVA DE VALORIZACIÓN AGROECOLÓGICA EN LA COMUNIDAD DE SHUCUSH, AMAZONAS" para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A. *Satisfacción.*

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:
Dieciocho (18). Aprobado con mención honrosa.

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL al



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Bach. LUIS IVAN DE LA CRUZ SALAZAR

Siendo las 15:30 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Dr. Jorge Luis López Bulnes
PRESIDENTE DEL JURADO

Mg. Martha Kelly Avilés Pavón
MIEMBRO DE JURADO

Dr. José Raúl López Kohler
MIEMBRO DE JURADO

Dr. Alberto Huiman Cruz
ASESOR



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Dr. Msc. Ing. Alberto Huiman Cruz, en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 001240-2023-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es *«Evaluación de la producción de *Pleurotus ostreatus* en residuos de café como alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas»* presentado por el bachiller Luis Ivan De la Cruz Salazar para optar el título de Ingeniero Ambiental, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 15% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 41459167

Nombres y apellidos del asesor: Alberto Huiman Cruz



DEDICATORIA

A mis amados padres, Marielita e Ivan:

Este trabajo, fruto de innumerables horas de esfuerzo, aprendizaje y crecimiento, está dedicado a ustedes, los pilares fundamentales de mi vida y mi educación.

Mamá, tu inquebrantable fe en mí ha sido el faro que me ha guiado en los momentos más oscuros de este viaje académico. Tu amor incondicional y tu paciencia infinita me han dado la fuerza para perseverar cuando el camino se tornaba difícil. Cada palabra de aliento, cada abrazo reconfortante, han sido el combustible que ha mantenido viva mi determinación.

Papá, tu ejemplo de disciplina y dedicación ha sido mi mayor inspiración. Observarte enfrentar los desafíos de la vida con valentía y sabiduría me ha enseñado que no hay obstáculo insuperable cuando se tiene pasión y perseverancia.

A ustedes, que han sido mis primeros maestros, mis más fieles aliados y mis eternos motivadores, dedico este logro. Que este trabajo sea un testimonio de su amor y un humilde tributo a todo lo que han hecho por mí.

Con amor y eterna gratitud,

Luis Ivan.

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa académica, expreso mi más sincera gratitud:

A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante.

A mis familiares cafetaleros, cuya labor inspiró esta investigación.

A mi asesor de tesis, por su guía invaluable y experticia.

A mis profesores, por fomentar mi pensamiento crítico y compartir su conocimiento.

A la secretaria de Ing. Ambiental, por su eficiencia y amabilidad.

A mis compañeros de clase, por su amistad y apoyo durante esta travesía.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la Decana de América, por brindarme una formación de excelencia.

A la comunidad de Shucush, Amazonas, por su apertura y colaboración en esta investigación.

A todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo.

Este logro es el resultado del esfuerzo colectivo y el apoyo de muchos.

Gracias por ser parte de este importante capítulo en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del Problema	4
1.2.1. Determinación del problema	4
1.2.2. Formulación del problema	4
1.2.2.1. Problema general	4
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Importancia y alcance de la investigación	5
1.4.1. Justificación de la investigación	5
1.4.1.1. Justificación teórica	5
1.4.1.2. Justificación práctica	6
1.4.1.3. Justificación metodológica.....	6
1.4.2. Alcances de la investigación	7
1.5. Limitaciones de la investigación.....	8
CAPÍTULO II.....	9
2.0. EL MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la investigación.....	9
2.1.1. Antecedentes nacionales	9
2.1.2. Antecedentes internacionales	10
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Residuos sólidos.....	12
2.2.1.1. Clasificación de los residuos	12
2.2.1.2. Gestión integral de residuos sólidos.....	15

2.2.2.	Tecnologías limpias.....	17
2.2.3.	Producción y consumo sostenible.....	18
2.2.4.	Economía circular	20
2.2.5.	Agroecología.....	21
2.2.6.	<i>Coffea arabica</i>	23
2.2.6.1.	El cafeto	23
2.2.6.2.	Componentes del sistema de producción del café	28
2.2.6.3.	Etapas del ciclo económico-productivo del café.....	33
2.2.6.4.	Impactos ambientales de la actividad cafetalera	36
2.2.6.5.	Generación de residuos del proceso del café	44
2.2.6.6.	Alternativas de valorización de los residuos del café	51
2.2.7.	Hongo ostra: <i>Pleurotus ostreatus</i>	52
2.2.7.1.	Taxonomía de <i>Pleurotus ostreatus</i>	53
2.2.7.2.	Morfología del <i>Pleurotus ostreatus</i>	55
2.2.7.3.	Propiedades de <i>Pleurotus ostreatus</i>	57
2.2.7.4.	Ventajas y desafíos de la producción de <i>Pleurotus ostreatus</i>	63
2.2.7.5.	Producción de <i>Pleurotus ostreatus</i>	65
2.2.7.6.	Factores positivos para la producción	68
2.2.7.7.	Factores negativos para la producción.....	70
2.2.7.8.	<i>Pleurotus ostreatus</i> y seguridad alimentaria.....	72
2.3.	Definición de términos.....	73
	CAPÍTULO III.....	80
3.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	80
3.1.	Las hipótesis	80
3.1.1.	Hipótesis general	80
3.1.2.	Hipótesis específicas	80

3.2.	Las variables	80
3.2.1.	Variable independiente	80
3.2.2.	Variable dependiente	81
3.3.	Operacionalización de variables	81
3.4.	Matriz de consistencia.....	83
CAPÍTULO IV.....		85
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
4.1.	Área de Estudio.....	85
4.2.	Tipo y Diseño de Investigación.....	86
4.2.1.	Método de producción de <i>Pleurotus ostreatus</i>	87
4.2.2.	Materiales	87
4.2.3.	Equipos.....	88
4.3.	Población y muestra.....	88
4.3.1.	Unidad de análisis.....	88
4.3.2.	Universo de estudio	89
4.3.3.	Tamaño de muestra	89
4.3.4.	Selección de la muestra.....	89
4.4.	Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información	89
4.4.1.	Selección de residuos a utilizar.....	89
4.4.2.	Construcción del ambiente de experimentación	90
4.4.3.	Obtención del inóculo	91
4.4.4.	Preparación y desinfección del sustrato	92
4.4.5.	Siembra e incubación	93
4.4.6.	Inducción y fructificación.....	94
4.4.7.	Cosecha de cuerpos fructíferos	95
4.4.8.	Análisis de datos.....	96

CAPÍTULO V.....	98
5. RESULTADOS.....	98
5.1. Del Objetivo 1: Identificación de residuos sólidos orgánicos.....	98
5.2. Del Objetivo 2: Determinación del rendimiento	105
5.2.1. Análisis estadístico	108
5.2.2. Análisis por formulación	113
5.2.3. Análisis por grupos	114
5.2.4. Análisis global	115
5.2.5. Resultados de la primera ola productiva	115
5.2.6. Resultados de la segunda ola productiva	119
5.2.7. Resultados de la tercera ola productiva.....	122
5.3. Del Objetivo 3: determinación de la formulación más eficiente	125
5.4. Análisis general de los resultados.....	129
6.0. DISCUSIÓN	131
7.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
7.1. Conclusiones	133
7.2. RECOMENDACIONES.....	134
8.0. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Impactos ambientales en la etapa de siembra del café.....</i>	37
Tabla 2	<i>Impactos ambientales en las etapas de despulpado, fermentación y lavado del café.....</i>	38
Tabla 3	<i>Impactos Ambientales en las etapas de secado y trilla del café</i>	40
Tabla 4	<i>Impactos Ambientales en la etapa de tostación del café.....</i>	41
Tabla 5	<i>Impactos Ambientales en la etapa de comercialización del café.....</i>	42
Tabla 6	<i>Impactos Ambientales en la etapa de preparación y consumo del café.....</i>	43
Tabla 7	<i>Principales residuos generados en las etapas del café.....</i>	45
Tabla 8	<i>Subproductos del café en base a 1000 g de café cerezo.....</i>	46
Tabla 9	<i>Composición química de los subproductos del café.....</i>	46
Tabla 10	<i>Microorganismos identificados en el proceso de lombricompostaje de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago.....</i>	47
Tabla 11	<i>Análisis fisicoquímico de los sustratos de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago en tres pasos del proceso de lombricompostaje.....</i>	48
Tabla 12	<i>Caracterización de biomasa de la cascarilla de café.....</i>	49
Tabla 13	<i>Caracterización de biomasa de la borra de café.....</i>	50
Tabla 14	<i>Aprovechamiento de los residuos de la agroindustria del café</i>	51
Tabla 15	<i>Taxonomía de <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm., 1871.....</i>	53
Tabla 16	<i>Propiedades medicinales de <i>Pleurotus ostreatus</i> y sus mecanismos de acción.....</i>	60
Tabla 17	<i>Operacionalización de variables.....</i>	81
Tabla 18	<i>Formulación de sustratos en %p/p base húmeda.....</i>	82
Tabla 19	<i>Matriz de consistencia.....</i>	84

Tabla 20	<i>Ubicación área de estudio.....</i>	85
Tabla 21	<i>Residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café identificados para ser empleados como sustrato en la producción de <i>Pleurotus ostreatus</i>.....</i>	103
Tabla 22	<i>Definición de formulaciones según tipo de residuos y su composición porcentual.....</i>	104
Tabla 23	<i>Resultados de producción y rendimiento (en orden decreciente) de cada unidad experimental de cultivo del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i>.....</i>	107
Tabla 24	<i>Datos del rendimiento (%) a ser analizados por el software InfoStat.....</i>	108
Tabla 25	<i>Estadísticos de ajuste del modelo para el análisis del rendimiento biológico.....</i>	109
Tabla 26	<i>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</i>	110
Tabla 27	<i>Prueba de Tukey.....</i>	111
Tabla 28	<i>Tabla de valores por unidad experimental, masa acumulada, rendimiento global y precocidad promedio.....</i>	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Estructura del fruto del café.....</i>	27
Figura 2	<i>Componentes del sistema de producción de café.....</i>	28
Figura 3	<i>Etapas de transformación de la cadena de valor del café.....</i>	35
Figura 4	<i>Identificación de subproductos del café en la anatomía de la cereza de café.....</i>	44
Figura 5	<i>Partes principales del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>.....</i>	57
Figura 6	<i>Plano de ubicación del área de estudio.....</i>	85
Figura 7	<i>Distribución aleatoria de las 48 Unidades Experimentales y sus formulaciones.....</i>	86
Figura 8	<i>Cabaña construida para la siembra y el cultivo del <i>Pleurotus ostreatus</i>.....</i>	90
Figura 9	<i>Estructura de sostén de madera de las 48 unidades experimentales.....</i>	91
Figura 10	<i>Inóculo secundario de <i>Pleurotus ostreatus</i>.....</i>	91
Figura 11	<i>Fermentación aeróbica de pulpa de café y preparación para desinfección.....</i>	92
Figura 12	<i>Desinfección de sustratos con cal viva y escurrido.....</i>	93
Figura 13	<i>Siembra e inoculación del hongo <i>P. ostreatus</i> a los sustratos formulados.....</i>	94
Figura 14	<i>Inducción y fructificación de las UE de cultivo del hongo comestible <i>P. ostreatus</i>.....</i>	95
Figura 15	<i>Cosecha de cuerpos fructíferos y pesaje de la masa producida por cada UE.....</i>	96
Figura 16	<i>Actividades recurrentes que realiza un productor de café en la localidad de Shucush.....</i>	99
Figura 17	<i>Esquema del ciclo productivo del café y sus residuos.....</i>	100

Figura 18	<i>Subproductos obtenidos en el proceso de beneficio de 1kg de café cerezo.....</i>	102
Figura 19	<i>Producción acumulada de <i>Pleurotus ostreatus</i> —masa(g)— de las tres olas productivas en base a las 16 formulaciones ordenadas de manera descendente.....</i>	106
Figura 20	<i>Rendimiento medio ordenado por grupos (arriba) y en orden decreciente (abajo).....</i>	112
Figura 21	<i>Primera oleada productiva de <i>Pleurotus ostreatus</i> distribuida por fechas.....</i>	116
Figura 22	<i>Primera ola productiva de <i>P. ostreatus</i>, valores acumulados por formulación.....</i>	117
Figura 23	<i>Rendimiento promedio primera ola según formulación ordenado por grupos y decreciente.....</i>	118
Figura 24	<i>Segunda oleada productiva de <i>Pleurotus ostreatus</i> distribuida por fechas.....</i>	119
Figura 25	<i>Segunda oleada productiva de <i>P. ostreatus</i>, valores acumulados por formulación.....</i>	120
Figura 26	<i>Rendimiento promedio segunda ola según formulación ordenado por grupos y decreciente.....</i>	121
Figura 27	<i>Tercera oleada productiva de <i>Pleurotus ostreatus</i> distribuida por fechas.....</i>	122
Figura 28	<i>Tercera ola productiva de <i>Pleurotus ostreatus</i>, valores acumulados por formulación.....</i>	123
Figura 29	<i>Rendimiento promedio tercera ola según formulación ordenado por grupos y decreciente.....</i>	124
Figura 30	<i>Producción acumulada vs precocidad.....</i>	125
Figura 31	<i>Rendimiento promedio (%) vs Precocidad promedio (días).....</i>	127
Figura 32	<i>Gráfico de dispersión: Rendimiento promedio (%) vs Precocidad promedio (días)</i>	127

RESUMEN

La presente investigación evaluó la producción de *Pleurotus ostreatus* utilizando residuos del café como alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas. Se seleccionaron tres residuos derivados del ciclo productivo del café: pulpa, cascarilla y concho, con los cuales se formularon 16 combinaciones de sustrato en diferentes proporciones. El diseño experimental fue completamente aleatorizado, abarcando 48 unidades experimentales. Se analizaron el rendimiento y la precocidad de *P. ostreatus* en cada formulación.

Los resultados revelaron diferencias significativas ($p < 0.0001$) entre las formulaciones. La formulación F03 (100% concho) registró el mayor rendimiento con un 19.73% y una precocidad moderada de 17 días. La combinación F08 (25% pulpa, 75% concho) mostró un equilibrio óptimo entre rendimiento (15.1%) y precocidad (14 días). La formulación F11 (25% pulpa, 50% cascarilla, 25% concho) destacó por su rápida producción, alcanzando un 14.35% de rendimiento en 15 días. Se observó que formulaciones con altas proporciones de concho (75-100%) favorecieron el crecimiento, mientras que altas proporciones de pulpa y cascarilla inhibieron la producción. Algunas formulaciones, como F01, F04 y F05 (con 75% o más de pulpa), no lograron crecimiento debido a posibles problemas de compactación o contaminación del sustrato.

Este estudio concluye que la producción de *P. ostreatus* utilizando residuos de café es una estrategia viable para la valorización de estos desechos en Shucush, promoviendo su aprovechamiento para la producción de alimentos nutritivos. Se recomienda profundizar en estudios de pretratamientos de residuos y condiciones controladas para mejorar la producción a mayor escala y consolidar su sostenibilidad.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, residuos de café, valorización agroecológica, Amazonas, sustrato, rendimiento.

ABSTRACT

This research evaluated the production of *Pleurotus ostreatus* using coffee residues as an agroecological valorization alternative in the community of Shucush, Amazonas. Three coffee production residues were selected: pulp, husk, and coffee grounds, which were used to create 16 substrate formulations in different proportions. The experimental design was completely randomized with 48 experimental units. The yield and precocity of *P. ostreatus* were analyzed for each formulation.

The results showed significant differences ($p < 0.0001$) between the formulations. Formulation F03 (100% coffee grounds) had the highest yield of 19.73% with moderate precocity of 17 days. The F08 combination (25% pulp, 75% coffee grounds) achieved an optimal balance with a 15.1% yield and 14 days of precocity. Formulation F11 (25% pulp, 50% husk, 25% coffee grounds) demonstrated fast production, reaching a 14.35% yield in 15 days. It was observed that formulations with high proportions of coffee grounds (75-100%) favored growth, while high proportions of pulp and husk inhibited production. Some formulations, such as F01, F04, and F05 (with 75% or more pulp), did not achieve growth, likely due to substrate compaction or contamination.

This study concludes that the production of *P. ostreatus* using coffee residues is a viable strategy for valorizing these waste materials in Shucush, promoting their use in the production of nutritious food. Further research is recommended on the pretreatment of residues and controlled conditions to optimize large-scale production and enhance sustainability.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*, coffee residues, agroecological valorization, Amazon, substrate, yield.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En la actualidad, a nivel mundial, el café es una de las bebidas más consumidas, con un total estimado de 10.62 millones de kg de café consumido en el periodo 2023/2024 según reporta la Organización Internacional del Café (2023); por ello, tanto su producción como consumo han generado impactos ambientales que plantean desafíos ambientales: la deforestación producto de la expansión agrícola, la erosión del suelo propia de un mal manejo agronómico, el uso intensivo de agua durante el beneficio húmedo, la emisión de gases de efecto invernadero y la generación de residuos en cada fase de la cadena de valor del café que son manejados de manera inadecuada por miles de cafetaleros.

Así pues, Chin et al. (2019) sostienen que anualmente se generan aproximadamente 28 mil toneladas de residuos como cáscaras de pergamino, pulpa borra de café. Además, Pauli (2022) menciona que tan solo se aprovecha el 0.2% de biomasa del grano de café, mientras que el 99.7% restante se convierte en residuo tras los procesos que involucran el beneficio, pilado, tostado y preparación de la bebida. Entonces, se tiene que en la cadena de valor del café se producen grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los restos orgánicos representan un porcentaje mayoritario; en el caso de la producción global de café, los residuos generados a través de su proceso productivo pueden ocasionar impactos ambientales negativos o bien pueden representar una oportunidad de valorización. Así pues, el cultivo potencial de hongos comestibles es una estrategia potencial para frenar la crisis de escasez de recursos, áreas de cultivo y amenazas a la seguridad alimentaria, cada vez que estos hongos se vuelven más populares en la dieta diaria gracias a sus buenos valores nutricionales (proteicos) y a sus propiedades médicas (Valverde et al., 2015)

Así pues, de acuerdo con la publicación “What a Waste 2.0” del Grupo Banco Mundial (2018), en comparación con otras regiones a nivel mundial, América

Latina y el Caribe (ALC) ocupaba el quinto lugar en generación anual de desechos en el 2016, representando un 11.5% (231 millones de toneladas) del total mundial (2010 millones de toneladas). De esta manera, se estima que cada persona de la región ALC genera aproximadamente 0.99 kg/día, siendo la composición de estos mayoritariamente de residuos de alimentos y residuos verdes (52%). Debido a ello, cada vez existe una mayor preocupación y atención en torno a su gestión eficiente. Sin embargo, aunque en principio se busca minimizar sus posibles impactos socioambientales, los residuos también pueden ser concebidos como materia prima valiosa.

En América Latina, muchos países son considerados líderes en la exportación de productos agrícolas, por tanto, esta producción intensiva deviene en una mayor generación de residuos. Ante ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (1983), en su boletín, reconoce la importancia del reciclaje de materias orgánicas en la agricultura y el potencial de la valorización de estos subproductos, entre ellos la pulpa de café.

En el Perú, según estadísticas oficiales del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA, 2021), en el año 2019 se produjeron aproximadamente 7.36 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, de los cuales más del 50% son residuos orgánicos con potencial de valorización. Sin embargo, según estimaciones de la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos (2020) del Ministerio del Ambiente (MINAM), en el año 2019 se valorizaron un total de 27,174.36 toneladas de residuos orgánicos, lo cual representa un 0.64% de lo orgánico valorizable. Asimismo, de acuerdo con el compendio técnico sobre “Bioenergía y seguridad alimentaria” de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2010), el Perú contaría con 16 millones de toneladas al año de residuos provenientes del sector agroindustrial, agrícola y maderero.

Específicamente en Amazonas, en la provincia de Rodríguez de Mendoza, una de las principales actividades económicas del área agrícola está relacionada con el cultivo del café, el cual produce grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos después de su beneficio. Así pues, estos

subproductos son gestionados de manera ineficiente, ocasionando la degradación de los recursos naturales como el agua y el suelo, factores clave para el desarrollo de la propia actividad agrícola.

En el distrito de Longar, Rodríguez de Mendoza, los residuos sólidos y líquidos producto del beneficio del grano del café, podría estar ocasionando la degradación ambiental del suelo y la alteración de la calidad del agua. Esto, entre otros factores, estaría ocurriendo debido a la inadecuada gestión de los residuos, debido a una tecnificación deficiente, la carencia de infraestructura de beneficio y una débil capacitación a los productores cafetaleros.

Si la situación permanece tal cual, mientras mayor sea la expansión agrícola del cultivo del café, mayores serán los residuos generados; así pues, se tendrían repercusiones tanto a nivel local como en el general de la sociedad ya que podría desencadenar la degradación de la calidad del suelo, agua y aire, así como la amenaza de la flora y fauna. Ante esto, una posible pérdida de productividad del suelo y de la calidad del agua ocasionaría que los pequeños productores pierdan su principal fuente de ingresos, lo que repercutiría en su calidad de vida; de esta manera, con el recurso suelo degradado se haría más difícil la actividad agrícola y tendrían que abandonar sus terrenos o fincas.

A nivel nacional, la exportación del café se vería afectada en detrimento de la economía y el Producto Bruto Interno; asimismo, esto podría repercutir en los hábitos de consumo de la población, que prefiere muchas veces el selecto grano nacional. Ante esta demanda, se tendría que importar o seguir ampliando el frente agrícola; esto ocasionaría deforestación, afectando los mecanismos naturales de captura de dióxido de carbono y regulación climática, lo cual podría afectar a actividades económicas como la silvicultura.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Determinación del problema

En concordancia con el concepto de economía circular y el marco normativo peruano sobre residuos sólidos que promueve su valorización, el autor propone la evaluación de la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en residuos de café como alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas, a fin de generar valor agregado y a su vez minimizar los impactos ambientales negativos, producto de una inadecuada gestión de estos residuos.

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema general

¿De qué manera la producción de *Pleurotus ostreatus* a partir de residuos de café constituye una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas?

1.2.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café pueden ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en la comunidad de Shucush, Amazonas?
- ¿Cuál es el rendimiento alcanzado según la formulación del sustrato a partir de residuos de café en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en la comunidad de Shucush, Amazonas?
- ¿Cuáles son las formulaciones de sustrato más eficientes para implementar el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la producción de *Pleurotus ostreatus* en residuos de café como alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar los residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café para ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en la comunidad de Shucush, Amazonas.
- Determinar el rendimiento alcanzado según la formulación del sustrato a partir de residuos de café en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en la comunidad de Shucush, Amazonas.
- Identificar las formulaciones de sustrato más eficientes para implementar el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

1.4.1. Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica desde múltiples perspectivas, abarcando aspectos teóricos, prácticos y metodológicos que subrayan su importancia y relevancia en el contexto actual.

1.4.1.1. Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, este estudio aportará conocimientos significativos en el campo de la valorización agroecológica de residuos del café mediante el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Específicamente, se obtendrá información crucial sobre la eficiencia de diferentes formulaciones de sustrato utilizando residuos de café (pulpa, cascarilla y concho) para el cultivo de *P. ostreatus*. Se explorarán los efectos de las distintas proporciones de estos residuos en el rendimiento y la precocidad del hongo, así como las interacciones entre los diferentes tipos de residuos y su impacto en el

crecimiento fúngico. Esta información ampliará la base de conocimientos sobre el aprovechamiento de residuos agrícolas para la producción de alimentos nutritivos, contribuyendo así a la literatura científica sobre economía circular y sostenibilidad en la agricultura.

1.4.1.2. Justificación práctica

Desde una perspectiva práctica, la elección de este tema de investigación responde a varias necesidades y oportunidades identificadas en la comunidad de Shucush, Amazonas. Como zona productora de café, Shucush genera cantidades significativas de residuos, lo que plantea un desafío de gestión sostenible que esta investigación aborda directamente. Además, en el contexto post pandemia de COVID-19, ha surgido un renovado interés en la producción local de alimentos, y el cultivo de *P. ostreatus* ofrece una fuente complementaria de nutrición rica en proteínas. Esta alternativa no solo contribuye a la seguridad alimentaria local, sino que también presenta un potencial beneficio económico al proporcionar una posible fuente adicional de ingresos para los agricultores locales a través de la valorización de los residuos de café.

La conveniencia de realizar esta investigación se fundamenta en su capacidad para proporcionar una solución práctica y sostenible a un problema ambiental y económico real, con potencial para mejorar la calidad de vida en la comunidad de Shucush. Al abordar la gestión de residuos del café, este estudio contribuye a prevenir la degradación ambiental, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y adaptación al cambio climático. Más aún, los resultados de este estudio pueden ser implementados directamente por pequeños productores de café, organizaciones comunitarias y comedores populares, ofreciendo beneficios tangibles a corto y largo plazo.

1.4.1.3. Justificación metodológica

En cuanto a la justificación metodológica, aunque esta investigación no crea nuevos instrumentos de recolección de datos por sí misma, sí aporta valor metodológico en varios aspectos importantes. Se han desarrollado 16 combinaciones únicas de sustratos utilizando residuos de café, lo que

proporciona un enfoque sistemático para evaluar diferentes proporciones de residuos. El diseño experimental completamente aleatorizado con 48 unidades experimentales permite un análisis estadístico sólido de los resultados. Además, la metodología incluye la medición tanto del rendimiento como de la precocidad del *P. ostreatus*, proporcionando una evaluación más completa del desempeño del hongo en diferentes sustratos.

Un aspecto destacable de esta metodología es su adaptación a las condiciones específicas de Shucush, Amazonas, lo que puede servir como modelo para investigaciones similares en otras regiones productoras de café. Este enfoque metodológico puede ser replicado o adaptado por otros investigadores interesados en la valorización de residuos agrícolas, contribuyendo así al desarrollo de mejores prácticas en este campo.

1.4.2. Alcances de la investigación

Se precisa que la presente investigación se enfoca en la evaluación experimental y en campo de diversas formulaciones de sustrato elaboradas a partir de residuos de café para la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Este estudio tiene un alcance correlacional, lo que permite establecer relaciones entre las variables de formulación del sustrato y los resultados de producción del hongo. El trabajo abarca desde la recolección y preparación de los residuos de café (pulpa, cascarilla y concho) hasta la medición del rendimiento y precocidad del *P. ostreatus* en las diferentes formulaciones.

El alcance geográfico de la investigación se centra en la comunidad de Shucush, Amazonas, proporcionando datos específicos para esta región cafetalera. Los resultados obtenidos ofrecen información valiosa sobre la viabilidad de la valorización de residuos de café mediante la producción de hongos comestibles en condiciones de campo, lo que puede ser particularmente relevante para pequeños productores y comunidades similares. Además, el estudio aborda aspectos de sostenibilidad y economía circular al proponer una solución práctica para el manejo de residuos agrícolas. Aunque se centra en el *P. ostreatus*, los hallazgos podrían servir

como base para investigaciones futuras con otras especies de hongos comestibles o en diferentes regiones productoras de café.

1.5. Limitaciones de la investigación

La principal limitación de este estudio radica en su realización en condiciones de campo en el caserío de Shucush, Longar, Rodríguez de Mendoza, Amazonas. Esta ubicación, aunque ideal para la relevancia práctica del estudio, presenta desafíos logísticos y metodológicos significativos.

En primer lugar, el transporte de materiales y equipos desde Lima a Amazonas representa una limitación considerable debido a la lejanía y accesibilidad reducida de la zona. Esto requirió una planificación meticulosa, especialmente para el transporte del material biológico, como el inóculo primario de *Pleurotus ostreatus*, que es sensible a las condiciones de almacenamiento y transporte.

Además, la realización de la investigación en campo conlleva dificultades para mantener un ambiente controlado, así como la ausencia de equipos especializados. Estos factores no controlados pueden influir en los resultados del estudio, aunque se intentó minimizar su impacto mediante la distribución aleatoria de las unidades experimentales. Así pues, otra limitación potencial es la variabilidad en la composición de los residuos de café utilizados, ya que pueden existir diferencias sutiles dependiendo de factores como la variedad de café, las prácticas de cultivo y procesamiento, y las condiciones de almacenamiento de los residuos. Esta variabilidad podría afectar la reproducibilidad exacta de los resultados en otros contextos.

Por último, el período de tiempo disponible para la investigación podría limitar la observación de efectos a largo plazo o la realización de múltiples ciclos de cultivo, lo que podría proporcionar información adicional sobre la sostenibilidad y la consistencia de la producción a lo largo del tiempo.

A pesar de estas limitaciones, la investigación proporciona datos valiosos y aplicables al contexto real de las comunidades cafetaleras, ofreciendo una perspectiva práctica sobre la viabilidad de la valorización de residuos de café mediante el cultivo de *P. ostreatus*.

CAPÍTULO II

2.0. EL MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Mendoza (2020) en su investigación para obtener la titulación como Ingeniera Ambiental: «Análisis de la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* obtenida a partir de los subproductos de la etapa de despulpado del café» busca una alternativa de tratamiento al residuo de la pulpa del cerezo del café a través de la valorización de este subproducto orgánico rico en azúcares como sustrato del hongo ostra. De esta manera, evaluó la producción a través de la eficiencia biológica (%), la tasa de producción y la tasa de biodegradación del sustrato. Así también utilizó tres tratamientos: T1 (100% viruta de bolaina blanca), T2 (50% pulpa de café + 50% viruta de bolaina blanca) y el T3 (100% pulpa de café). Como resultado de este trabajo se obtuvieron mejores resultados para el T2, la mezcla de pulpa de café y viruta de bolaina blanca, con una eficiencia biológica del 96.5%, tasa de producción 0.75 y tasa de biodegradación de sustrato del 31.8%. Finalmente, la autora de esta investigación concluye que es técnicamente posible cultivar los hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* a partir de la pulpa de café *Coffea arábica* y además utilizar las pleurotinas producidas como abono orgánico en los suelos.

Nieto-Juárez et al. (2021) estudió la «Evaluación del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* y de su composición nutricional en borra de café» en su trabajo de investigación, con el objetivo de evaluar su fortaleza como posible modo de valorizar este subproducto. El presente trabajo obtuvo como resultados que la proporción adecuada de inóculo fue entre el 10 – 20% de semilla sobre sustrato húmedo en gramos, lo que logró tener una eficiencia biológica de alrededor del 60%. Asimismo, se obtuvo que el valor proteico del hongo ostra alcanzó el 47.3% en muestra seca y un bajo contenido de grasas y carbohidratos. Como conclusión, el autor menciona que la borra del café

tiene el potencial de ser valorizado para el cultivo del hongo ostra, además de generar una alternativa proteica y saludable.

Córdova (2021) realizó su tesis de «Productividad del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en sustrato de café y determinación del valor nutricional», cuyo objetivo fue el evaluar la productividad y el valor nutricional del hongo ostra, mediante una investigación del tipo experimental. Los resultados que obtuvo en términos productivos de los cuerpos fructíferos fueron: 8.39% de eficiencia biológica, 13.10% de tasa de producción y 5.16% de rendimiento. El análisis nutricional proximal del hongo muestra que la harina de este hongo comestible presenta un 30.49% de proteína, 50.1% carbohidratos, 11.13% de fibra cruda entre otros. Finalmente, la autora concluyó que la productividad del hongo fue baja utilizando una proporción del 0.83% de inóculo sobre sustrato húmedo; sin embargo, a través del cómputo de aminoácidos se tuvo que la harina de *Pleurotus ostreatus* es rico en proteínas y posee todos los aminoácidos esenciales.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Guzmán et al. (2019) realizaron el estudio de «Evaluación del crecimiento y producción del hongo ostra *Pleurotus ostreatus* bajo condiciones artesanales utilizando restos de cosecha en el municipio de Camotán, Chiquimula, Guatemala» con el objetivo de generar información técnica sobre la producción artesanal potencial del hongo ostra. Para ello se utilizaron como sustratos residuos de restos de cosecha disponibles en la región, como: caña de maíz, tusa de maíz, rastrojo de frijol y por último la pulpa de café como parámetro de referencia. Así pues, se realizó un diseño completamente al azar, donde se estudió: los días para la colonización del sustrato, el peso fresco total durante 30 días y la eficiencia biológica. Asimismo, se estableció como unidad de muestreo a la cantidad de carpóforos producidos durante 30 días, en un metro cuadrado en cada repetición; para ello, la unidad de medida incluyó para cada tratamiento dos bolsas de producción. Además, los resultados mostraron que el sustrato de pulpa de café alcanzó una media de 2.87 lb de hongo por corte por metro cuadrado, seguido por la tusa de maíz

(2.63 lb) y el rastrojo de frejol (2.59 lb). Como conclusión se tiene que los residuos postcosecha mostraron resultados prometedores para la producción de los hongos comestibles, aunque no lograron alcanzar los valores obtenidos con la pulpa de café.

García et al. (2011) evalúan las «Formulaciones de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*», utilizando para este fin sustratos naturales recolectados en la provincia de Santiago de Cuba: cáscaras de cacao, cáscaras de coco, pulpa de café y viruta de cedro. Para ello, se realizaron 12 formulaciones divididas en tres grupos: sustratos solos, con pulpa de café y sin pulpa de café, variando en estos tratamientos la composición de los sustratos (% en base húmeda). Asimismo, se emplearon dos cepas de *Pleurotus ostreatus*, y la técnica biotecnológica de Fermentación en Estado Sólido (FES) para los sustratos naturales. Mediante el experimental descrito se analizaron los indicadores de precocidad (P), tasa de producción (TP), eficiencia biológica (EB) y rendimiento (R). Así pues, tras el análisis y discusión de resultados se concluye que la pulpa de café logró ofrecer una eficiencia biológica superior, produciendo 1.68 g de hongos frescos/ g de sustrato seco con respecto al grupo formulado con sustratos solos. Asimismo, se concluyó que los otros indicadores estudiados mejoraron su desempeño cuando las formulaciones tenían la pulpa de café en su mezcla; esto demuestra una influencia positiva en la producción del *Pleurotus ostreatus*. Asimismo García (2008) en su tesis de Doctor en Ciencias Técnicas estudia la «Producción de setas comestibles y enzimas lacasas por fermentación en estado sólido de la pulpa de café con *Pleurotus spp.*» concluyó que las concentraciones de compuestos tóxicos en la pulpa de café decrecieron.

Garzón et al. (2008) estudiaron la «Producción de *Pleurotus ostreatus*» sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferentes procedencias» con el objetivo de evaluar el efecto de cuatro sustratos en forma individual y combinada (mezcla), a través de los indicadores de eficiencia biológica, número de días en periodo de incubación, número de días para la aparición de primordios, el rendimiento, la frecuencia y el porcentaje de peso de los cuerpos fructíferos y la productividad. De esta manera, se realizaron 12 formulaciones con los

residuos de bagazo de caña de azúcar, tallo de maíz, aserrín y sobras de café de consumo humano (borra de café). Asimismo, el trabajo se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, donde se construyó un invernadero. Finalmente, los resultados evidenciaron que los rendimientos de las formulaciones con restos de café, tanto de manera individual fueron significativamente más altos ($p < 0.05$) que aquellos que no lo tenían.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Residuos sólidos

Según Otero, L. (1996) los residuos son inherentes a la actividad de todo ser vivo; y, se dice incluso, que los desechos de animales y plantas han servido para el sustento de los ecosistemas. Así también, el hombre produce desperdicios en sus actividades diarias. Sin embargo, hoy en día se considera a la presencia de residuos como un problema. Esta percepción estaría asociada al incremento constante de la tasa de generación de residuos, originando un desequilibrio entre la biósfera del planeta y las actividades humanas.

2.2.1.1. Clasificación de los residuos

A. Clasificación según su origen

El D.L. N° 1278, Ley de gestión integral de residuos sólidos; contempla que los residuos se clasificaban según su origen de la siguiente manera: residuos domiciliarios, comerciales, de limpieza de espacios públicos, de los establecimientos de atención de salud, industriales, de las actividades de construcción, agropecuarios y de instalaciones o actividades especiales.

De acuerdo con el trabajo de Otero (1996), a continuación, se detalla la clasificación de los residuos según su origen:

- Residuos domiciliarios: son aquellos producidos por actividades que se realizan en viviendas u otros establecimientos con características similares. Por ejemplo: papel, cartón, plásticos, residuos de comida, textiles, cuero, aceites, madera, vidrios, latas, metales, fierro, muebles, colchones, productos de limpieza, electrodomésticos, entre otros.
- Residuos comerciales: son los producidos en los bares, restaurantes, oficinas, bancos, centros de espectáculos, tiendas y supermercados. Estos corresponden a restos de comida, papel, cartón, plásticos, embalajes, madera, vidrio, metales, pilas, baterías, entre otros.
- Residuos de limpieza en los espacios públicos: son residuos que se obtienen del servicio de limpieza pública, que comprende pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas. Esto constituye: polvo, latas, excretas de animales, colillas, papel, vidrio, hojas, hierba, ramas de árboles, cartón, vehículos abandonados, animales muertos, entre otros.
- Residuos de establecimientos de atención en salud: son aquellos que se generan los centros de salud, consultorios, hospitales, clínicas y laboratorios clínicos. Podemos encontrar fundas de colchones, vendajes, algodón usado, ropas de camas, desechables, empapadores, entre otros.
- Residuos industriales: son aquellos producidos por las industrias que comprenden el sector energético, pesquero, manufacturero, minero, químico, textil, mecánico, de artes gráficas, etc. Entre los residuos tenemos latas, pinturas, grasas, barnices, lacas, textiles, cuero, plásticos, papel, aserrín, madera, vidrio, hierro, metales y residuos tóxicos y peligrosos, entre otros.
- Residuos de actividades de construcción: lo conforman los residuos producidos en obras como edificios, carreteras, puentes, presas, canales y obras de demolición. Podemos encontrar maderas, fierros, escombros, ladrillos, hormigón, bloques de cemento, entre otros.
- Residuos agropecuarios: son aquellos producidos por las actividades de agricultura y ganadería. Comprenden distintos recipientes de agroquímicos, plaguicidas, fertilizantes, entre otros.

- Residuos de actividades especiales o instalaciones: estos son producidos por construcciones de amplias dimensiones con el fin de ofrecer servicios privados o públicos. Entre estos tenemos a terminales terrestres, plantas de tratamiento de aguas residuales, puertos, aeropuertos, instalaciones militares y navieras, etc.

B. Clasificación según su peligrosidad

- Residuos peligrosos: son aquellos que producto de su manipulación, pueden producir efectos nocivos a la salud y al ambiente. Asimismo, son residuos peligrosos aquellos que presenten características de toxicidad, corrosividad, explosividad, reactividad, inflamabilidad, radiactividad y/o patogenicidad.
- Residuos no peligrosos: son aquellos que no representan riesgos al ambiente ni a la salud al manipularse.

C. Clasificación según su composición

- Residuos orgánicos: son aquellos conformados por material biodegradable de origen biológico, generalmente se caracterizan por degradarse rápidamente. Dentro de esta clasificación tenemos a los residuos agrícolas, restos de alimentos, podas, entre otros.
- Residuos inorgánicos: son aquellos producidos de manera artificial y que tardan en degradarse en condiciones naturales. Ejemplo de esto tenemos a los residuos plásticos y de vidrio.

D. Clasificación según su grado de aprovechamiento

- Residuos aprovechables: son aquellos que por sus características químicas, físicas o biológicas son susceptibles de generar valor en algún proceso productivo y ser aprovechados de manera material o energética.
- Residuos no aprovechables: aquellos que por sus características han perdido valor para su aprovechamiento.

2.2.1.2. Gestión integral de residuos sólidos

Según la Guía General para la Gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios (Rondón et. al. 2016), elaborado en el marco del Convenio de Cooperación Técnica entre el Ministerio de Desarrollo, se tiene que la Gestión Integral de los residuos Sólidos (GIRS), comprende una interacción dinámica entre actores institucionales, sectoriales y regionales que buscan una solución eficiente y equitativa sobre el manejo de los residuos. En este sentido, se menciona que la planificación integral de la gestión de los residuos sólidos es un proceso que se cumple en fases dinámicas e iterativas, las cuales están relacionadas con la cadena de eliminación de estos. Se sugiere que el plan debe ser participativo, debido a que el problema de los residuos sólidos está ligado con cuestiones ambientales que afectan directamente a los hogares, la comunidad y la economía. En ese sentido, preparar un buen programa de educación y participación del público facilitaría la mejora de la gestión gracias a la aceptación de la comunidad.

Ojeda y Quintero (2008) sostienen que el manejo de los residuos sólidos a nivel mundial representa un problema para las grandes ciudades; además, sostienen que el crecimiento demográfico en zonas urbanas, los cambios en los patrones de consumo, el desarrollo ineficaz del sector empresarial e industrial, y las mejoras del nivel de vida de los ciudadanos, entre otros, son los factores que han incrementado la generación de residuos sólidos en los pueblos y ciudades.

El D.L. N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (2016), establece que la gestión integral de los residuos sólidos en el país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos en origen, frente a cualquier otra alternativa. Como segunda opción se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, teniendo en cuenta las alternativas de reutilización, reciclaje, compostaje, co-procesamiento, entre otras garanticen la protección del medio ambiente y la salud humana. Esta ley, establece que la última alternativa de manejo debe

ser la disposición final de los residuos sólidos en la infraestructura respectiva y en condiciones ambientalmente adecuadas.

De acuerdo con el artículo 67 “Valorización material y energética” del reglamento del Decreto Legislativo N° 1278 (el DS N° 014-2017-MINAM), modificado por el Artículo 2 del DS N° 001-2022-MINAM, menciona en el 67.1 que la valorización material y energética «constituyen operaciones de valorización material el reciclaje, compostaje, o bioconversión, entre otras alternativas que demuestren su viabilidad técnica, económica y ambiental»; así pues, mediante la presente investigación se realizará la bioconversión del sustrato (formado por residuos provenientes del ciclo de vida del café) para la producción de hongos comestibles, siendo importante la contribución de esta investigación para demostrar su viabilidad técnica, económica y ambiental como se menciona en el reglamento. Se demuestra viabilidad técnica debido a que en la presente investigación se identifican los residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café para ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, se determina el rendimiento alcanzado según la formulación del sustrato; y se identifican las formulaciones de sustrato más eficientes. Así también la viabilidad económica se demuestra al aprovechar un residuo de descarte la materia prima principal y siendo los costos de adquisición de semillas de 80 soles por kilogramo (según Fungi Innova), y que pueden luego reproducirse en la misma localidad. Finalmente, la viabilidad ambiental se demuestra al minimizar los impactos que genera la descomposición de estos residuos ante una inadecuada gestión de estos.

Según la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (2008), se tiene que la jerarquía de residuos, establece de manera general un orden de prioridad de lo que constituye la mejor opción global para el medio ambiente en la política en materia de residuos y la legislación, aunque puede resultar necesario apartarse de esta jerarquía para determinados flujos de residuos si está justificada por motivos de viabilidad económica, factibilidad técnica y protección del medio ambiente, entre otros. A continuación, la jerarquía de

prioridad (de mayor a menor importancia) en la gestión de residuos sólidos, adaptado del artículo 4 sobre la jerarquía de residuos de la Directiva 2008/98/CE:

- a) **Prevención:** La prevención de la generación de residuos es la opción prioritaria que implica la adopción de medidas para reducir la cantidad y la peligrosidad de los residuos generados, promoviendo prácticas que minimicen la producción de residuos desde su origen.
- b) **Preparación para la reutilización:** Se fomenta la reutilización de materiales de que se conviertan en residuos; esto incluye acciones como la reparación, la redistribución y la venta de productos de segunda mano.
- c) **Reciclaje:** La valorización de los residuos a través del reciclaje implica el tratamiento de los residuos para recuperar materiales, energía u otros recursos para su posterior uso.
- d) **Otra valorización:** Cuando no sea posible el reciclaje, se prioriza la valorización de los residuos mediante otros medios, como la valorización energética; es decir, la producción de energía a partir de residuos.
- e) **Eliminación:** La eliminación de residuos es la opción menos preferente y se reserva para aquellos residuos que no pueden ser tratados de ninguna otra manera de acuerdo con los principios anteriores. Esto incluye el depósito controlado en vertederos o su incineración.

2.2.2. Tecnologías limpias

Las tecnologías limpias son, según Seoáñez (1998), aquellas estrategias aplicadas en base a técnicas de reciclaje, sustitución, recuperación y revaloración. Estas pueden basarse en procesos naturales simples como la descomposición de la materia orgánica para convertirse en abono agrícola; o también, pueden ser el resultado de largos procesos investigativos como las herramientas biotecnológicas para optimizar variedades de plantas frente a factores externos dañinos.

Para Sotomayor et al. (2019), las definiciones de tecnologías limpias discuten sobre proceso, productos y servicios que buscan alcanzar rendimientos superiores con menos inversión, mitigando al mismo tiempo los impactos ambientales negativos y remarcando el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Las tecnologías limpias constituyen para Marco et al. (2003) alternativas paliativas a los impactos antropogénicos negativos presentes en diversos ámbitos socioeconómicos. Así pues, ante el impacto modificador que ocasiona la agricultura sobre los recursos naturales, surge la agroecología como ciencia que tiene como objetivo la gestión sostenible de los agroecosistemas, teniendo como principios la integración, diversificación, reciclaje de nutrientes, el uso de fuentes de energías locales.

De esta manera, a través de la agroecología se involucra a los agricultores a desarrollar buenas prácticas agrarias las cuales deben cumplir con ciertos criterios, según Fernández (2001): ser de aplicación sencilla, suponer gastos permisibles e implica utilizar los recursos materiales disponibles.

2.2.3. Producción y consumo sostenible

De acuerdo con el «Coffee Report and Outlook» de diciembre del 2023, de la Organización Internacional del Café (2023): la producción mundial de este grano se incrementó un 0.1% a 168.2 millones de bolsas de café (bolsas de 60 kg) en el periodo 2022/2023; así pues, para el periodo 2023/2024 se estima que la producción mundial se incremente un 5.8% a 178 millones de bolsas. Debido a los impactos que trajo consigo la pandemia del COVID-19 a la economía global, se reportó un consumo anómalo de café en el periodo 2022/23 decreciendo un 2% hasta 173.1 millones de bolsas. Sin embargo, para el periodo de consumo del 2023/2024, asumiendo que la economía global crecerá por encima del 3% y que la industria responderá positivamente al stock acumulado del café se estima un crecimiento del 2.2% hasta los 177.0 millones de bolsas (Arabica 102.2 millones de bolsas y Robusta 75.8 millones de bolsas). Específicamente para Sudamérica se estima una producción de

89.3 millones de bolsas para el periodo 2023/24, mientras que su consumo se proyecta a 28.0 millones de bolsas, notándose que la región es mayoritariamente productiva y exportadora. En el caso de Perú, la producción del café cayó un 7.1% a 3.9 millones de bolsas en el año 2023/23 debido a las lluvias extremas, lo cual evidencia la repercusión económica que el cambio climático y sus condiciones meteorológicas extremas ocasionan sobre la producción de esta materia prima.

De acuerdo con el portal web de la Cámara de Café y Cacao de Perú (2024), los estimados generales de los datos generales de comercio muestran los valores de enero a abril del 2023 muestran que el volumen exportado de café asciende a 341,208.4 sacos de 60 kg de café verde —es decir: 20,472.5 toneladas de café verde—, por un monto de USD 97,072.9; asimismo el volumen importado de café corresponde a 1031.2 toneladas de café soluble. Además, la plataforma muestra que el volumen anual producido para el 2021 fue de 374,167 toneladas de café pergamino. Así pues, según las cifras, somos un país exportador de esta materia prima y por lo tanto tenemos que gestionar de manera adecuada los residuos del ciclo de vida del café.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) establece en el Objetivo 12 de los Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible (ODS) que, para lograr el desarrollo sostenible y el progreso económico, es necesario cambiar los métodos de producción de bienes, así como, cambiar los enfoques del consumo de bienes y servicios. Esto reparte la responsabilidad entre consumidores y productores con el fin de orientar a la sociedad a la gestión eficiente de los recursos naturales y los residuos.

En ese sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) es un actor importante en la gestión de proyectos y actividades que impliquen la pérdida de alimentos y la minimización de desechos. Asimismo, este esfuerzo articulado entre organizaciones internacionales busca asegurar la seguridad alimentaria, la cual se define como la disponibilidad suficiente de alimentos para asegurar la satisfacción de necesidades alimenticias per cápita del total de un país.

El concepto de consumo responsable, según Ortiz de Mendivil (2010), se puede entender desacoplándolo en tres grupos: el consumo ético, el consumo ecológico y el consumo solidario. Así pues, el consumo ético implica adquirir como sociedad los valores de sencillez y moderación como factor para tener en cuenta al momento de optar por la adquisición de un producto o servicio. Asimismo, el consumo ecológico involucra considerar la reducción, reutilización y reciclaje de materias (conocidas como las *3R*) como también las producciones artesanales y agroecológicas. Finalmente, el consumo solidario se refleja en la empatía de los consumidores con respecto a las condiciones laborales y de salud mediante las cuales se produce el producto a consumir, velando por un comercio justo.

2.2.4. Economía circular

Para Sandoval (2017), la economía circular representa una alternativa al modelo lineal económico; así pues, este paradigma se encamina a generar crecimiento económico, proteger el medio ambiente y prevenir los impactos ambientales negativos, en pro del desarrollo sostenible. La propuesta de McDonough y Braungar se resume en la expresión «de la cuna a la cuna» (*Cradle to cradle*), lo cual se traduce como una estrategia de cambio, en la manera en la que producimos y consumimos. Mediante la aplicación de la economía circular se busca el reaprovechamiento de materia y energía, de manera que una actividad económica pueda beneficiarse de los residuos de otra.

La Unión Europea incorpora desde el 2015 el concepto de economía circular en su plan de acción que involucra propuestas para las diferentes etapas de la cadena de valor, «desde la producción hasta el consumo, la reparación y la reelaboración, la gestión de residuos y las materias primas secundarias que se reintroducen en la economía.» Así pues, este plan se orienta al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y compromisos de la Alianza del G-7 en lo que abarca la eficiencia de los recursos. (Comisión Europea, 2015. Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular).

Para el autor del presente trabajo de investigación, la economía circular es un reflejo cercano y humano de los procesos naturales que ocurren en nuestro planeta; es decir, la manifestación antropocéntrica de los primitivos y aún vigentes ciclos de intercambio de materia y energía que dan lugar al ciclo hidrológico, del reciclaje ecológico de los nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, etc.) y los procesos edáficos (formación de los suelos a partir de las rocas). Así pues, toda esta dinámica natural sustenta el abastecimiento de materias primas y determina el ambiente en el que se desarrollan las actividades económicas.

2.2.5. Agroecología

En su forma más básica, la agroecología se entiende como la aplicación de principios ecológicos al desarrollo y comprensión de sistemas productivos sostenibles (Altieri et al., 2000; Gliessman, 1998). A partir de la década de 1990, este concepto comenzó a incorporar de manera más integrada elementos sociales, económicos y políticos en su análisis (Méndez et al. 2002). En este sentido, la agroecología se puede definir como un enfoque para la gestión ecológica de los recursos naturales que, a través de acciones sociales colectivas, ofrece alternativas a las problemáticas de la modernidad. Esto se logra mediante propuestas de desarrollo participativo en los ámbitos de producción y comercialización alternativa, buscando formas de producción y consumo que aborden la crisis ecológica y social, y que permitan restaurar el equilibrio entre los procesos sociales y ecológicos (Sevilla, 2006).

Monje (2011) sostiene que la agroecología actúa como un marco teórico que guía las prácticas de agricultura ecológica a nivel local, promoviendo el fortalecimiento de sistemas de producción que respeten las estructuras ecológicas y sociales. Más allá de ser simplemente agricultura ecológica u orgánica, la agroecología se posiciona como una alternativa frente a las prácticas agrícolas convencionales. Este movimiento busca renovarse defendiendo sus raíces en las prácticas agrícolas indígenas y campesinas, distanciándose de las políticas rurales convencionales que dominan el discurso actual sobre desarrollo rural.

Según Restrepo et al. (2000), los "agroecosistemas" se originan cuando los seres humanos transforman los ecosistemas naturales para adaptarlos a la producción agrícola. Este concepto aplica tanto a la agricultura convencional como a la agroecología, aunque difieren en sus enfoques: mientras la agricultura convencional prioriza maximizar la producción a través del uso intensivo de insumos externos como maquinaria y productos químicos, la agroecología se enfoca en desarrollar modelos sostenibles que promuevan y mantengan los ciclos naturales. Los agroecosistemas, por lo tanto, son diversos y dependen de variables como el clima, el tipo de suelo, las condiciones económicas, la estructura social y el contexto histórico de cada área.

Además, la función de los agroecosistemas está intrínsecamente vinculada al flujo de energía y al ciclo de nutrientes. Los principios de manejo agroecológico incluyen prácticas como el control biológico, el manejo integrado de plagas, la fertilización orgánica, el reciclaje de residuos, la conservación del suelo mediante técnicas como la labranza mínima, el uso de sistemas agroforestales, la rotación de cultivos, y la selección de variedades vegetales y razas animales adaptadas a las condiciones locales. Además, estos principios fundamentales se pueden sintetizar en:

- **Diversidad biológica:** Fomentar una variedad de cultivos para conservar la agrobiodiversidad y mejorar la resiliencia y productividad de los sistemas agrícolas.
- **Interacción ecológica:** Optimizar las relaciones dentro de los agroecosistemas, como los ciclos de nutrientes y las interacciones depredador-presa, para un uso eficiente de los recursos.
- **Conocimiento local:** Incorporar y valorar el saber tradicional de las comunidades locales, promoviendo un diálogo entre conocimientos científicos y empíricos.
- **Sostenibilidad:** Reducir al mínimo el uso de insumos externos y fomentar prácticas que sean responsables desde el punto de vista ecológico y justas socialmente.

2.2.6. *Coffea arabica*

Desde una mirada económica, las especies *Coffea arabica* y *Coffea canephora* representan las más relevantes según la Organización Internacional del Café (ICO). Así pues, dentro de los países productores del «cinturón del café» se encuentra Perú, el cual, según la Cámara Peruana de Café y Cacao, para el año 2020 produjo un total de 371,756 toneladas de café pergamino. De esta manera, las principales cinco regiones cafetaleras del país son San Martín, Junín, De acuerdo con el Plan Nacional de Acción del Café Peruano, son tres factores los que inciden principalmente en la eficiencia productiva del grano, estos son: la capacidad técnica insuficiente de los productores, la incidencia severa de plagas y la deforestación.

2.2.6.1. El cafeto

De acuerdo con Arcila (2007) el cafeto es un arbusto perenne que alcanza entre 20 a 25 años en condiciones comerciales, según el sistema de cultivo. Esta planta empieza a producir frutos al primer año, y la producción continúa por varios años, siendo entre los 6 y 8 años cuando alcanza sus producciones máximas. Luego de este periodo, el cafeto sigue produciendo, pero en cantidades que no resultan ser rentables. Para esta planta, el crecimiento vegetativo es complejo ya que la formación de raíces, ramas, nudos y hojas ocurre a lo largo de su ciclo de vida, siendo que durante su primer año de vida transcurre netamente la etapa vegetativa: de germinación-trasplante (2 meses), almácigo (5 a 6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses); luego de ello, las fases de crecimiento vegetativo y reproductivo transcurren de manera simultánea.

Arcila (2007) menciona que la fase de desarrollo reproductivo del cafeto se inicia con la aparición de las primeras flores, cuando emergen influenciadas por varios factores: duración del día, temporada de siembra, condiciones térmicas y disponibilidad de agua. Se considera el inicio de la primera floración cuando al menos la mitad de los cafetos han florecido. Posteriormente, la fase productiva progresa al desarrollo del fruto y su maduración. La fase de

envejecimiento del cafeto está condicionada por diversos factores, tales como la ubicación geográfica del cultivo, la densidad de siembra, la productividad del cultivo, la disponibilidad de nutrientes, la incidencia de plagas y enfermedades, así como el estrés ambiental y otros aspectos relevantes.

A. Las raíces del cafeto

Arcila (2007) describe que estas cumplen un rol fundamental para el cafeto debido a que es el órgano por el cual la planta se ancla al suelo y absorbe los minerales y al agua transportándolos por la planta para su crecimiento. El desarrollo de un sistema radical óptimo comienza desde la etapa de germinación, continúa durante el trasplante en el almácigo y finaliza con una siembra adecuada en un suelo que ofrezca condiciones físicas y químicas favorables para su crecimiento. La mayoría de las raíces activas del cafeto se localizan cerca de la superficie del suelo, principalmente en los primeros 10 cm de profundidad, y se extienden desde un metro a metro y medio desde el tronco. A una profundidad de hasta 30 cm, se halla el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% del total de las raíces del cafeto. Esto indica que la planta requiere una buena disponibilidad de agua y nutrientes en esta capa del suelo. Las raíces vivas presentan un color marrón claro en su parte externa y blanco en su interior.

Según Arcila (2007), las condiciones que restringen el crecimiento de las raíces pueden manifestarse desde la fase de germinación debido a problemas en el tratamiento de las semillas, exceso de humedad en el sustrato, métodos de siembra inapropiados, uso excesivo de productos químicos, tamaño inadecuado de contenedores, poda excesiva o daño en las raíces durante la siembra. En el entorno del campo, estas limitaciones pueden ser causadas por características del suelo como su textura y estructura, presencia de piedras, mal drenaje, capacidad limitada de retención de agua y capas subsuperficiales compactadas, que restringen el crecimiento radicular.

B. El tallo, las ramas y las hojas

De acuerdo con Arcila (2007), la disposición estructural de la planta, que incluye el tallo, las ramas y las hojas, desempeña un papel esencial en la captación y transformación de la energía solar en biomasa. Durante su desarrollo, el cafeto inicialmente produce hojas en los primeros 3 a 4 nudos, seguido por el desarrollo de ramas laterales a partir de yemas en las axilas de las hojas, donde cada axila puede generar múltiples yemas. Estas yemas tienen la capacidad de generar nuevos brotes verticales, mientras que el crecimiento en altura está controlado por el ápice del tallo. A su vez, el ápice de las ramas se encarga de la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta.

Así pues, la exposición solar influye de manera significativa en la morfología de la planta, lo que se refleja en diferencias notables entre aquellas cultivadas en pleno sol y las que están en sombra. Las plantas expuestas al sol suelen presentar un mayor número de nudos, entrenudos más cortos y hojas más pequeñas. En cada nudo del tallo se forman múltiples yemas, que pueden dar lugar a flores o a ramas secundarias o terciarias en condiciones desfavorables para la floración, especialmente en plantas mayores de 15 meses.

Las hojas son fundamentales para el crecimiento de las plantas según Arcila (2007), ya que facilitan procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración y la transpiración. En el caso de la especie arábica, las hojas muestran una disposición opuesta y tienen una forma elíptica. Cuando son jóvenes, su color tiende a ser bronce o verde claro, evolucionando hacia un tono verde oscuro a medida que maduran. Además, estas hojas carecen de pelos (son glabras) y están cubiertas por una capa cerosa en el lado superior (haz). Las nervaduras de la hoja presentan un patrón reticulado, con una nervadura central y entre 9 y 12 nervaduras secundarias en ambos lados, las cuales son curvadas y sobresalen en el envés de la hoja. Los bordes de las hojas son lisos y ligeramente ondulados. La formación de hojas y el área foliar dependen de diversos factores, como la especie, la edad del cultivo, la densidad de siembra y las condiciones ambientales. De esta manera, los cultivos eficientes suelen enfocarse en el crecimiento vegetativo para expandir su área foliar y mejorar la captación de la radiación solar. Asimismo, prácticas agronómicas

como la fertilización, la densidad de siembra adecuada y un manejo espacial apropiado son importantes para aumentar la interceptación de la luz solar y la productividad del cafeto.

C. Floración

La floración del cafeto es un proceso complejo según Arcila (2007), influenciado por factores genéticos y ambientales, que se pueden dividir en factores estimulantes —inducen directamente a la floración: duración del día, temperatura, disponibilidad hídrica y nutricional— y acumuladores —son necesario para preparar a la planta para la floración, incluye acumulación de carbohidratos, nutrientes esenciales y energía—. Los cambios en cualquiera de estos factores afectan directamente la distribución y cantidad de la floración. Así pues, el rompimiento de la etapa de latencia de los botones florales de café está determinado por un período de sequía moderada, seguido de lluvias y cambios bruscos de temperatura durante el día.

D. El Fruto

El fruto toma vital importancia en la presente investigación pues a través del beneficio del fruto se producen los residuos que se investigaron como sustrato para la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*; además de su importancia económica para la elaboración de la bebida. Al fruto se le denomina cereza, por ser de color rojizo cuando está maduro, su forma es ovoide y tiene una longitud de 10 a 15 mm y diámetro de 11.5 a 14.5 mm. Según Arcila y Jaramillo (2003) se pueden distinguir cinco etapas en el desarrollo del fruto:

- En la prima etapa, después que el óvulo es fertilizado se produce un crecimiento lento en tamaño y peso durante siete semanas.
- En la segunda etapa, también llamada de formación del grano lechoso —10 semanas—, el requerimiento hídrico es alto y el fruto crece en peso y volumen; caso contrario, se produce caída, desecación y granos oscuros.

- La tercera etapa es la del grano averanado, con alta demanda de nutrientes durante nueve semanas, cuando se endurece la almendra y el fruto termina de formarse bien cuando existe suficiente agua.
- En la cuarta etapa, se realiza la época de maduración y cambio de color del cerezo, cuando el endospermo llena el grano entero, dura 6 semanas (desde los 183 a 223 días después de la floración) y es el momento óptimo para su recolección.
- La quinta etapa es de sobremaduración, después de los 225 días después de la floración, cuando pasó el momento óptimo de cosecha, el cerezo continúa su maduración y se torna violeta oscuro y luego se seca perdiendo peso.

E. Estructura del fruto del café

De acuerdo con Arcila (2007), el cerezo está unido al tallo mediante el pedicelo, que tiene la misma estructura del tallo; además, la parte pulposa del fruto está formada por el pericarpio, compuesto por el exocarpio (también llamado epicarpio: cubierta o piel exterior del fruto que puede ser rojo o amarillo) y el mesocarpio (mucílago: sustancia gelatinosa y con alto contenido de azúcares).

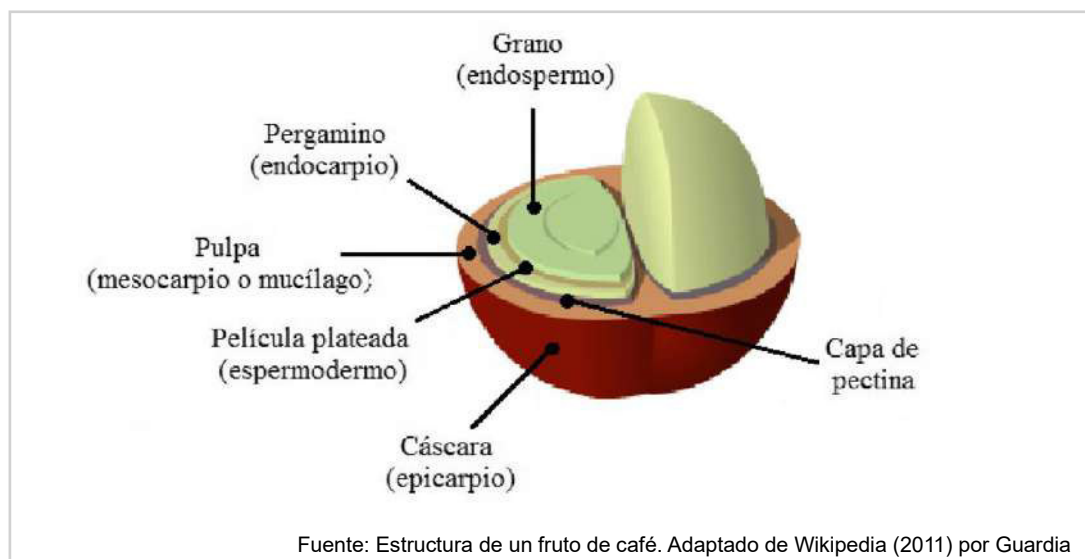


Figura 1
Estructura del fruto del café

A lo largo de la maduración del fruto, el pericarpio experimenta transformaciones químicas con el aumento su contenido de agua, azúcares y taninos —compuesto orgánicos conocidos por su sabor amargo y astringente— y también transformaciones físicas con la alteración de la forma y tamaño y el engrosamiento de las paredes celulares, proceso en el cual se reduce paulatinamente el contenido de agua y azúcares según se cita a Federacafé (2008). Así pues, el pergamino de la semilla se forma en el fruto desarrollado a través del endocarpio, formado por fibras blancas de paredes gruesas de 0.1mm de grosor unidas de manera compacta. Esto se puede apreciar en la Figura 1.

2.2.6.2. Componentes del sistema de producción del café

De acuerdo con Duque et al. (2005), presenta un esquema de componentes del sistema de producción del café, adaptado en la Figura 2, este esquema proporciona una visión integral de las entradas necesarias, los procesos involucrados y las salidas obtenidas en la producción de café, resaltando la complejidad y los diversos factores que deben considerarse para la gestión sostenible del cultivo.

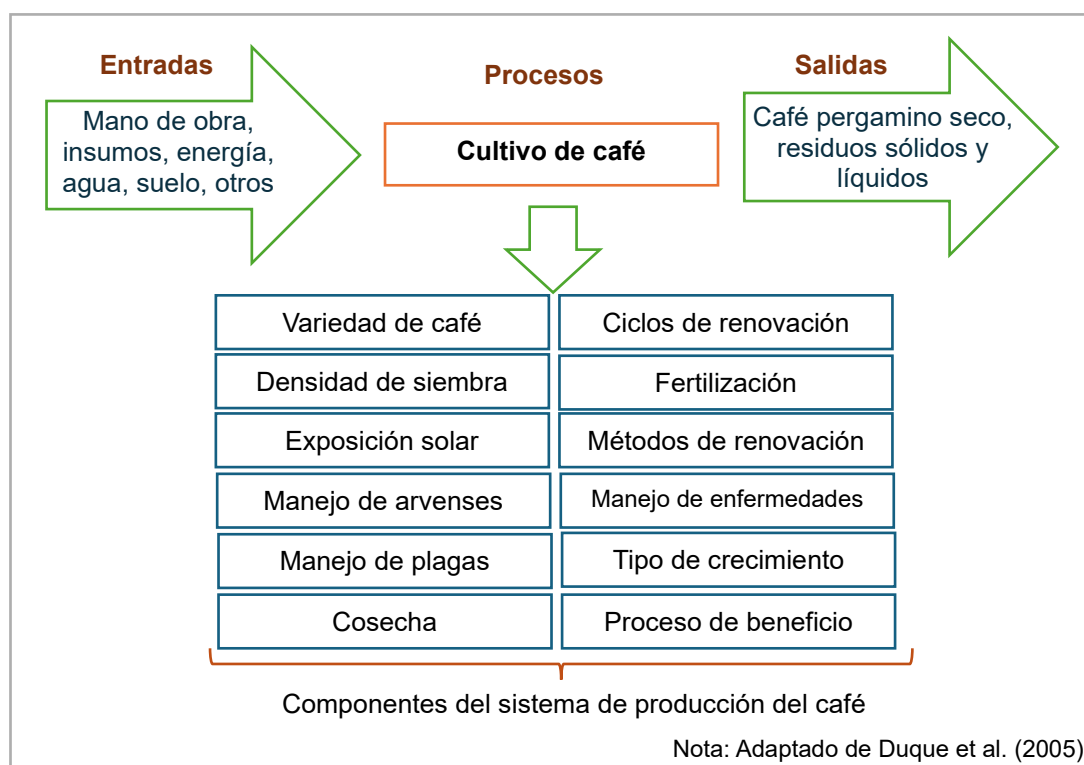


Figura 2

Componentes del sistema de producción de café

A continuación, se describe cada uno de estos componentes en el contexto del cultivo del café:

A. Entradas

- **Mano de obra:** Corresponde a la fuerza laboral necesaria para llevar a cabo todas las actividades dentro del sistema de producción del café, desde la siembra hasta la cosecha y el beneficio.
- **Insumos:** Incluye todos los materiales necesarios para el cultivo del café, como semillas, fertilizantes, pesticidas, herramientas agrícolas, entre otros.
- **Energía:** Energía necesaria para alimentar la maquinaria agrícola, el transporte, y otros procesos mecánicos o industriales involucrados en la producción del café.
- **Agua:** Recurso hídrico esencial en diferentes etapas del cultivo y procesamiento del café, desde el riego en los campos hasta el lavado de los granos.
- **Suelo:** El medio físico donde se cultiva el café, cuyo manejo adecuado es crucial para la productividad y la sostenibilidad del cultivo. Las condiciones de un suelo ideal para el cultivo de café son: buen drenado, de textura franco-arenosa o franco-limosa, con un pH ligeramente ácido, rico en materia orgánica y nutrientes esenciales, con una buena capacidad de retención de agua y suficiente profundidad para el desarrollo radicular. Estos factores contribuyen a un crecimiento óptimo del cafeto y a la producción de granos de alta calidad.
- **Otros:** Puede incluir cualquier otro recurso adicional necesario para el cultivo de café, como insumos tecnológicos, capital financiero, etc.

B. Procesos

- **Cultivo de café:** Este es el proceso central donde ocurren varias subactividades cruciales para el desarrollo y producción del café, incluyendo:

- **Variedad de café:** Selección del tipo de planta de café, que influye en la calidad del grano, la resistencia a plagas, y la adaptación a las condiciones climáticas y edafológicas locales.
- **Densidad de siembra:** Cantidad de plantas por unidad de área, lo cual afecta la productividad del cultivo y el manejo del suelo.
- **Exposición solar:** Gestión de la cantidad de luz solar que reciben las plantas, que afecta el crecimiento, la fotosíntesis, y la maduración de los granos. Se controla con árboles de sombra.
- **Manejo de arvenses:** Control de malezas en los campos de café para evitar competencia por nutrientes, agua, y luz.
- **Manejo de plagas:** Estrategias para controlar insectos y otros organismos que pueden dañar las plantas de café. Las principales plagas que afectan el cultivo del café incluyen la broca del café (*Hypothenemus hampei*), un escarabajo que perfora y daña los granos, causando graves pérdidas de cosecha; el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*), cuyas larvas crean galerías en las hojas, reduciendo la capacidad fotosintética de la planta; y el gorgojo del tallo (*Xylosandrus compactus*), que perfora el tallo y debilita la planta. Además, las escamas o cochinillas (*Coccus viridis* y *Saissetia coffeae*) succionan la savia, debilitando el cafeto, mientras que los nemátodos afectan las raíces, comprometiendo la absorción de agua y nutrientes. Otras plagas incluyen la araña roja y hormigas arrieras, que contribuyen a la defoliación y debilitamiento de las plantas. Un manejo integrado de plagas es esencial para mitigar estos impactos.
- **Cosecha:** Recolección de los frutos de café en su punto óptimo de maduración para asegurar la mejor calidad posible.
- **Ciclos de renovación:** Prácticas de rejuvenecimiento del cultivo, como la poda o la replantación, para mantener la productividad a lo largo del tiempo.
- **Fertilización:** Aplicación de nutrientes al suelo para mejorar la fertilidad y asegurar un crecimiento saludable de las plantas.

- **Métodos de renovación:** Técnicas aplicadas para sustituir plantas envejecidas o menos productivas con nuevas plántulas.
- **Manejo de enfermedades:** Estrategias preventivas y correctivas para controlar enfermedades que puedan afectar la planta de café. Entre las más importantes se encuentran la roya del café, que causa defoliación y debilitamiento de las plantas; el ojo de gallo, que afecta hojas y frutos; y la antracnosis, que daña los frutos en desarrollo. Otras enfermedades como la marchitez por *Fusarium* y la podredumbre de la raíz y del tallo también pueden provocar la muerte de las plantas.
- **Tipo de crecimiento:** Refleja el sistema de cultivo utilizado, ya sea bajo sombra, a pleno sol, o intercalado con otros cultivos.
- **Proceso de beneficio:** Conjunto de actividades postcosecha que incluyen el despulpado, fermentación, lavado, secado y trilla de los granos de café.

C. Salidas

- **Café pergamino seco:** Producto final de los procesos de cultivo y beneficio, donde el grano de café ha sido procesado y secado, listo para la exportación o el tueste.
- **Residuos sólidos y líquidos:** Subproductos generados en diferentes etapas del proceso de producción de café, como pulpa de café, mucílago, cáscaras, y aguas residuales, que requieren manejo adecuado para minimizar su impacto ambiental.

Así pues, el manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de café es crucial para asegurar la sostenibilidad y productividad del cafetal, para ello se debe tener en cuenta:

- **Manejo Integrado de Plagas (MIP):** Implementar un enfoque integrado que combine métodos culturales, biológicos, químicos y físicos para controlar plagas de manera efectiva y sostenible. El MIP minimiza el uso de pesticidas y sus impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana.

- **Monitoreo y Detección Temprana:** Realizar monitoreos regulares para detectar la presencia de plagas y enfermedades en etapas tempranas. La identificación oportuna permite tomar medidas preventivas o correctivas antes de que los daños sean significativos.
- **Uso de Variedades Resilientes:** Seleccionar y cultivar variedades de café que sean resistentes o tolerantes a plagas y enfermedades comunes en la región, lo que reduce la necesidad de intervenciones químicas y contribuye a la estabilidad del cultivo.
- **Prácticas Culturales y Agronómicas:** Implementar prácticas como la poda, la adecuada densidad de siembra, y el manejo de la sombra para reducir la incidencia de plagas y enfermedades. Estas prácticas mejoran la circulación de aire, reducen la humedad excesiva y fortalecen la salud general de las plantas.
- **Control Biológico:** Fomentar el uso de enemigos naturales de las plagas, como insectos depredadores, parasitoides y hongos entomopatógenos, para mantener las poblaciones de plagas bajo control sin recurrir a pesticidas.
- **Uso Racional de Productos Químicos:** Cuando sea necesario, utilizar productos químicos de manera selectiva y en dosis adecuadas, siguiendo las recomendaciones técnicas. Es importante alternar diferentes clases de pesticidas para evitar el desarrollo de resistencias en las plagas.
- **Capacitación y Conciencia:** Educar a los productores de café sobre la importancia del manejo integrado y la correcta identificación de plagas y enfermedades. La capacitación continua ayuda a mejorar las prácticas de manejo y a reducir los riesgos asociados con el mal uso de productos químicos.
- **Rotación de Cultivos y Diversificación:** Incluir la rotación de cultivos y la diversificación de plantas en el entorno del cafetal para interrumpir los ciclos de vida de las plagas y reducir la presión de enfermedades.
- **Manejo de Suelo y Nutrición:** Mantener un suelo saludable y bien nutrido fortalece las plantas, haciéndolas más resistentes a ataques de plagas y

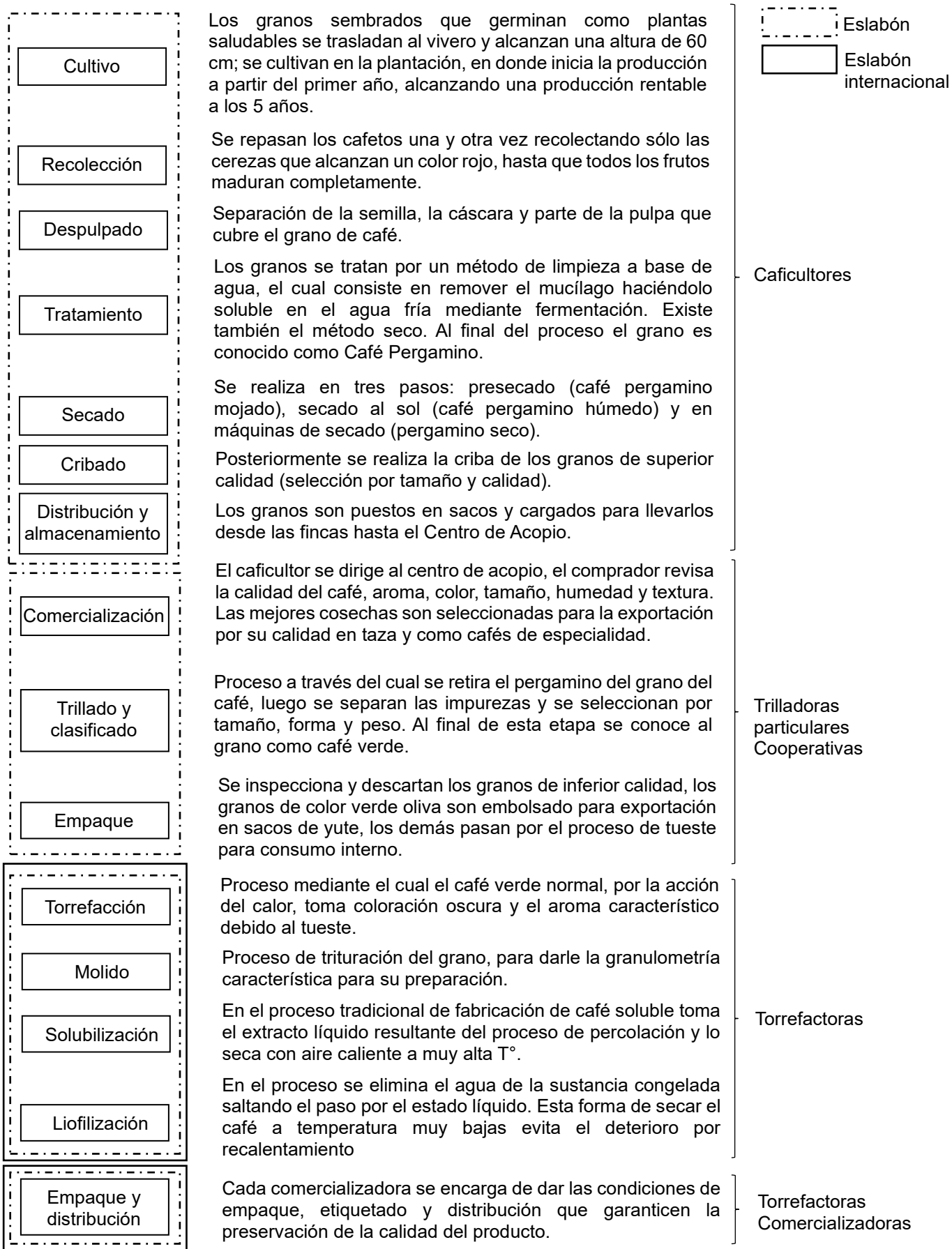
enfermedades. Un manejo adecuado del suelo incluye el uso de compost, abonos orgánicos y prácticas de conservación.

2.2.6.3. Etapas del ciclo económico-productivo del café

Según el portal web Arabo (2021), el ciclo económico del café puede describirse de la siguiente manera. Asimismo, se acompaña esta descripción con un esquema adaptado de García et al. (2006) en la Figura 3.

- a) Siembra y cosecha:** Etapa donde los mejores granos se seleccionan, luego se procede a la germinación de estos. Se procede a la siembra individual de las plantas en bolsas de plástico. Después de unas semanas, se planta el cafeto en tierra, manteniendo un metro y medio de distancia entre cada plantón. En el proceso productivo de la planta del café, se procede a recoger los frutos y a la recepción de este en las fincas o en el lugar de beneficio. Se verifica que el café cereza recibido esté maduro, sano y libre de defectos. Se puede realizar una clasificación “en la fuente” para separar los granos maduros, de los verdes o sobre maduros.
- b) Lavado o separación:** Se separan los granos dañados o podridos por tamaño y densidad mediante la flotación; asimismo, las cerezas maduras se limpian de tierra, pequeñas ramas, insectos, hojas o palos.
- c) Despulpado:** También llamado descerezado, es la acción de desprender y separar la pulpa del grano en sí mismo, usualmente en una despulpadora con un mecanismo de manivela. Se controla que el despulpado se realice de manera adecuada, sin dañar los granos producto de la actividad mecánica. En esta parte del proceso, se genera gran volumen de residuos, producto de la cáscara o pulpa.
- d) Fermentación:** Los granos producto del despulpado son puestos en recipientes o construcciones cerradas para que estos se despojen de una emulsión viscosa llamada mucílago. Se debe verificar que la fermentación para remover el mucílago se realice en las condiciones óptimas de tiempo y temperatura.
- e) Lavado:** Tras la fermentación, el grano es lavado por una corriente de agua de manera que se eliminen las impurezas.

- f) **Secado:** Los granos de café se tienden en zarandas o pisos de cemento, abarcando una superficie amplia; con energía solar o de manera mecánica. Se monitorea que el secado se realice de manera homogénea, evitando condiciones extremas de temperatura debido a que un secado inconsistente puede producir características no deseables producto de una fermentación impredecible. Una vez que el grano está seco, se evalúa visualmente verificando su apariencia, color, humedad y ausencia de defectos. Se puede realizar una clasificación por tamaño y densidad para separar los granos de mejor calidad.
- g) **Trillado:** El café pergamino es pilado para desprender su capa externa de color amarillento (pergamino), adquiriendo así un color verde oliva (café oro).
- h) **Tostación:** Para el consumo local o propio, se procede a la tostación del grano y su molienda. En las empresas o cooperativas de café se suele realizar un análisis sensorial del café tostado molido, evaluando atributos como aroma, sabor, acidez, cuerpo y consistencia. Este análisis se realiza por un catador, y permite determinar la calidad final del café y su potencial para ser considerado un café especial.
- i) **Comercialización:** La comercialización que realizan los agricultores es a través de las cooperativas de café. El café pergamino es puesto en sacos, se pesan y se realiza el pago de acuerdo con este valor y la calidad del grano. El almacenamiento temporal del producto se realiza en lugares secos y ventilados. Las etapas finales son las correspondiente a cualquier producto en el mercado: distribución, adquisición y consumo del producto. Las cooperativas suelen exportar el café oro en sacos de yute; en ese sentido, las certificaciones orgánicas y de comercio justo pueden significar un diferencial que se agrega al valor en bolsa de esta materia prima.



Nota: Adaptado de García et al. (2006).

Figura 3

Etapas de transformación de la cadena de valor del café

2.2.6.4. Impactos ambientales de la actividad cafetalera

Salazar (2013) realizó un exhaustivo diagnóstico de los diversos aspectos de la producción de café que pueden generar impactos ambientales significativos. Dentro de estos, se destacan prácticas como la quema y la deforestación, las cuales representan una amenaza considerable para la conservación del suelo y la integridad de los ecosistemas terrestres. Además, el manejo de plagas y enfermedades, particularmente a través del uso de productos químicos, es señalado como un factor crítico que puede tener repercusiones adversas en el entorno. El estudio también resalta el elevado consumo de agua durante la etapa de beneficio del café, así como la gestión de subproductos como el mucílago y la pulpa, los cuales requieren una atención particular para minimizar su impacto ambiental. En cuanto al proceso de secado, se identificó que la emisión de gases de combustión derivados del secado mecánico contribuye de manera significativa a la contaminación atmosférica.

Los resultados del diagnóstico indican que el impacto más severo se observa en el uso irracional del agua y en la gestión inadecuada de las aguas residuales. Otros factores, como la protección de la flora y la fauna, el empleo de agroquímicos y fitosanitarios, las prácticas de conservación del suelo, el uso de fertilizantes, la gestión de residuos, y las estrategias de ahorro de energía, fueron clasificados con un impacto de carácter medio. No obstante, el estudio también identifica varios impactos positivos, tales como la implementación de medidas para la protección del suelo, entre las que se incluyen la siembra en función de la pendiente, la eliminación de la quema de residuos, y el establecimiento de coberturas vegetales adecuadas. Asimismo, se destaca el uso de fuentes de energía alternativas, como la energía solar para el secado del grano, y la sustitución de combustibles fósiles por pergamino en el funcionamiento de equipos de secado, para reducir el impacto ambiental en la producción de café.

A continuación, se presentan los impactos ambientales por cada etapa del proceso del café:

Tabla 1

Impactos ambientales en la etapa de siembra del café

Aspecto Ambiental	Componentes Afectados	Impactos Ambientales	Medidas de Manejo
ETAPA: SIEMBRA			
Uso de agroquímicos	Suelo, Agua, Biodiversidad (Flora y Fauna)	- Contaminación del suelo y cuerpos de agua - Pérdida de biodiversidad microbiana, flora y fauna - Alteración de hábitats naturales	- Uso de fertilizantes y pesticidas orgánicos - Implementación de barreras vegetales para filtrar escorrentías - Manejo integrado de plagas (MIP)
Deforestación y cambio en el uso del suelo	Suelo, Biodiversidad (Flora y Fauna), Paisaje	- Erosión y compactación del suelo - Pérdida de biodiversidad - Degradación del paisaje natural	- Fomento de prácticas agroforestales - Conservación de corredores ecológicos - Uso de técnicas de cultivo que preserven la estructura del paisaje
Manejo del riego y escorrentía superficial	Agua, Suelo	- Sobreexplotación de recursos hídricos - Contaminación de cuerpos de agua por escorrentía de agroquímicos	- Implementación de sistemas de riego eficiente (por goteo) - Creación de zanjas y barreras vegetales para controlar la escorrentía
Quema de residuos agrícolas	Aire, Suelo	- Emisión de gases contaminantes - Contribución al cambio climático - Reducción de la calidad del aire local	- Prohibición de quemas abiertas - Promoción del compostaje y uso de residuos como biomasa

Nota: Elaborado a partir de varias fuentes: Ardila, V. (2023); Sánchez et al. (2012); Guhl (2009); Polo (2013); Macip-Ríos et al. (2013); Camacho et al. (2018); Clavijo (2018); Salazar (2013); Fernández-Cortés et al. (2020); Wilches Cifuentes (2014); Camacho et al. (2018)

De la Tabla 1 se desprende que el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos en la siembra del café puede llevar a la contaminación del suelo y cuerpos de agua; además, la expansión de tierras agrícolas para la siembra del café genera deforestación, causando pérdida de hábitats, erosión del suelo y degradación del paisaje. A su vez, puede existir sobreexplotación de recursos hídricos y emisión de gases de efecto invernadero por la quema de residuos agrícolas.

Tabla 2

Impactos ambientales en las etapas de despulpado, fermentación y lavado del café

Aspecto Ambiental	Componentes Afectados	Impactos Ambientales	Medidas de Manejo
ETAPA: DESPULPADO			
Generación de residuos sólidos (pulpa)	Suelo, Agua, Biodiversidad	- Contaminación de cuerpos de agua por lixiviados - Atracción de plagas y vectores - Pérdida de calidad del suelo por acumulación de residuos orgánicos	- Valoración agroecológica de los residuos orgánicos - Compostaje de la pulpa para uso como fertilizante orgánico o como biomasa para generación de energía - Control de lixiviados mediante sistemas de drenaje
Consumo de agua	Agua	- Sobreexplotación de recursos hídricos - Contaminación por residuos orgánicos disueltos	- Implementación de sistemas de recirculación de agua - Uso de tecnologías de despulpado en seco para reducir el consumo de agua
Uso de energía	Aire	- Emisión de gases de efecto invernadero por consumo de energía - Contribución al cambio climático	- Uso de energías renovables para el proceso - Optimización de la eficiencia energética en el uso de maquinaria
ETAPA: FERMENTACIÓN Y LAVADO			
Generación de aguas residuales (mucilago)	Agua, Suelo	- Contaminación de cuerpos de agua por vertidos de aguas residuales	- Tratamiento de aguas residuales mediante biodigestores o sistemas de oxidación - Uso de tecnologías de fermentación en seco para

			- Degradación de la calidad del suelo por disposición inadecuada	reducir el volumen de residuos líquidos
Emisión de gases	Aire		- Emisión de gases malolientes por descomposición del mucílago - Contribución a la contaminación del aire local	- Implementación de tecnologías de fermentación controlada para reducir emisiones - Uso de cubiertas en tinas de fermentación para capturar gases
Manejo de residuos líquidos	Agua, Biodiversidad		- Alteración de la biodiversidad acuática por vertidos líquidos - Contaminación de fuentes de agua potable	- Reutilización de aguas residuales como abono foliar - Implementación de zonas de amortiguamiento para proteger cuerpos de agua cercanos
Emisión de olores	Aire		- Generación de olores desagradables que afectan la calidad del aire - Impacto negativo en la comunidad local	- Tratamiento de aguas residuales para reducir la emisión de olores - Uso de plantas de tratamiento con sistemas de aireación controlada

Nota: Elaborado a partir de varias fuentes: Ardila, V. (2023); Ayala (2021); Verdugo (2020); Fernández-Cortés et al. (2020); Gómez-Anaya et al. (2017); Clavijo (2018); Leyva et al. (2019) y Chaparro (2013).

De la Tabla 2 se tiene que, en las etapas de despulpado, fermentación y lavado en la producción de café, los principales desafíos ambientales incluyen la gestión de residuos sólidos y líquidos, el consumo intensivo de agua y energía, y la emisión de gases. En ese sentido, el despulpado genera pulpas que pueden contaminar cuerpos de agua y atraer vectores, mientras que la fermentación y el lavado producen aguas residuales que degradan la calidad del suelo y el agua si no se tratan adecuadamente. Para mitigar estos impactos, es crucial implementar tecnologías que optimicen el uso de recursos, gestionen eficientemente los residuos y reduzcan las emisiones, como el compostaje u otras alternativas de valorización de los residuos orgánicos; además, el tratamiento de aguas residuales y el uso de energías renovables.

Tabla 3*Impactos ambientales en las etapas de secado y trilla del café*

Aspecto Ambiental	Componentes Afectados	Impactos Ambientales	Medidas de Manejo
ETAPA: SECADO			
Consumo de energía (secado mecánico)	Aire	- Emisión de gases de efecto invernadero debido al consumo de energía para el secado - Contribución al cambio climático	- Uso de fuentes de energía renovable, como secado al sol con camas elevadas (zarandas) - Optimización del proceso de secado para mejorar la eficiencia energética
ETAPA: TRILLA			
Generación de residuos sólidos (cascarilla y pergamino)	Suelo, Agua, Biodiversidad	- Acumulación de residuos sólidos que pueden contaminar el suelo y cuerpos de agua - Atracción de plagas	- Compostaje de cáscaras y pergamino para uso como fertilizante o biomasa - Gestión adecuada de residuos para evitar acumulación
Consumo de energía	Aire	- Emisión de gases de efecto invernadero debido al consumo de energía para trilla - Contribución al cambio climático	- Uso de energías renovables - Mejora de la eficiencia energética en los equipos de trilla
Generación de polvo	Aire	- Aumento de la concentración de polvo en el aire durante el proceso, afectando la calidad del aire local y la salud de los trabajadores	- Instalación de sistemas de control de polvo, como filtros y ventilación adecuada - Uso de equipos de trilla con control de emisiones de polvo

Nota: Elaborado a partir de varias fuentes: Ardila, V. (2023); Ayala (2021); Verdugo (2020); Gómez-Anaya et al. (2017); Torres (2020); Clavijo (2018) y Leyva et al. (2019).

De la Tabla 3 se desprende que, en las etapas de secado y trilla del café, los principales desafíos ambientales incluyen la gestión de residuos sólidos, el consumo de energía, y la generación de polvo. El secado y la trilla genera pergamino que, si no se manejan adecuadamente, pueden contaminar el

suelo y el agua. El alto consumo de energía, en caso se utilice secado y trilla mecánica, en ambas etapas contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero y al cambio climático. Además, la trilla produce un polvo fino, que puede afectar la calidad del aire y la salud de los trabajadores. Así pues, para mitigar estos impactos, es esencial implementar prácticas de valorización de los residuos, el uso de energías renovables, y la mitigación del polvo.

Tabla 4
Impactos Ambientales en la etapa de tostación del café

Aspecto Ambiental	Componentes Afectados	Impactos Ambientales	Medidas de Manejo
ETAPA: TOSTACIÓN			
Consumo de energía	Aire	- Emisión de gases de efecto invernadero debido al consumo de energía en los tostadores - Contribución al cambio climático	- Uso de fuentes de energía renovable para la tostación - Optimización del proceso para mejorar la eficiencia energética
Emisión de gases y compuestos volátiles	Aire	- Liberación de compuestos volátiles orgánicos y gases como CO₂ durante la tostación - Impacto en la calidad del aire local	- Instalación de sistemas de filtrado y control de emisiones - Monitoreo y reducción de las emisiones mediante la mejora de los equipos de tostación
Generación de residuos sólidos	Suelo	- Acumulación de residuos sólidos que pueden afectar la calidad del suelo	Generación de residuos sólidos (cáscaras, residuos de tostación)

Nota: Elaborado a partir de varias fuentes: Ardila, V. (2023); Ayala (2021); Verdugo (2020); Fernández-Cortés et al. (2020); Gómez-Anaya et al. (2017); Torres (2020); Clavijo (2018) y Leyva et al. (2019).

En la Tabla 4 se muestra que los principales ambientales de la etapa de tostación incluyen el consumo intensivo de energía, la emisión de gases y compuestos volátiles, y la generación de residuos sólidos. El proceso de tostación requiere una considerable cantidad de energía, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y, por ende, al cambio climático.

Tabla 5*Impactos Ambientales en la etapa de comercialización del café*

Aspecto Ambiental	Componentes Afectados	Impactos Ambientales	Medidas de Manejo
ETAPA: COMERCIALIZACIÓN			
Uso de materiales de empaque	Suelo, Biodiversidad	- Generación de residuos sólidos por materiales de empaque no biodegradables - Contaminación del suelo por desechos plásticos	- Uso de materiales de empaque biodegradables o reciclables - Fomento de prácticas de reciclaje entre consumidores y distribuidores
Consumo de energía en transporte y distribución	Aire	- Emisiones de gases de efecto invernadero por transporte y distribución - Contribución al cambio climático	- Implementación de prácticas de transporte más sostenibles - Uso de vehículos eléctricos o de bajas emisiones para la distribución
Generación de residuos post-consumo	Suelo, Agua	- Acumulación de residuos sólidos en áreas urbanas y rurales - Posible contaminación de cuerpos de agua por desechos inadecuados	- Programas de reciclaje y recolección de residuos post-consumo - Educación al consumidor sobre la gestión adecuada de residuos

Nota: Elaborado a partir de varias fuentes: Ardila, V. (2023); Ayala (2021); Verdugo (2020); Fernández-Cortés et al. (2020); Gómez-Anaya et al. (2017); Torres (2020); y Clavijo (2018)

En la Tabla 5 se muestra que, para la etapa de comercialización del café, los desafíos ambientales más destacados son el uso de materiales de empaque, el consumo de energía en el transporte y distribución. En ese sentido, el uso de empaques no biodegradables contribuye a la generación de residuos sólidos que pueden contaminar el suelo. Asimismo, el transporte y distribución del café implica el consumo de energía, generalmente de combustibles fósiles, lo que genera emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 6*Impactos Ambientales en la etapa de preparación y consumo del café*

Aspecto Ambiental	Componentes Afectados	Impactos Ambientales	Medidas de Manejo
ETAPA: PREPARACIÓN Y CONSUMO DEL CAFÉ			
Consumo de energía	Aire	- Emisión de gases de efecto invernadero por el uso de energía en la preparación (cafeteras eléctricas, estufas) - Contribución al cambio climático	- Uso de cafeteras y electrodomésticos eficientes energéticamente - Promoción del uso de energía renovable para la preparación del café
Consumo de agua	Agua	- Desperdicio de agua en el proceso de preparación y limpieza de equipos - Contribución a la sobreexplotación de recursos hídricos	- Uso de tecnologías que optimicen el consumo de agua en la preparación - Promoción de prácticas de ahorro de agua entre los consumidores
Generación de residuos (filtros, cápsulas, tazas desechables)	Suelo, Biodiversidad	- Acumulación de residuos sólidos (filtros de papel, cápsulas de café, tazas desechables, concho del café) - Contaminación del suelo y cuerpos de agua por residuos no biodegradables	- Fomento del uso de filtros reutilizables y cápsulas reciclables - Valoración de residuos orgánicos desechados como el concho, tras la preparación de la bebida - Promoción del uso de tazas reutilizables en lugar de desechables

Nota: Elaborado a partir de varias fuentes: Ardila, V. (2023); Ayala (2021); Verdugo (2020); Fernández-Cortés et al. (2020); Gómez-Anaya et al. (2017); Torres (2020) y Leyva et al. (2019).

La Tabla 6 muestra que, en la etapa de preparación y consumo del café, los principales desafíos ambientales incluyen el consumo de energía y agua, así como la generación de residuos sólidos. La preparación del café, especialmente con electrodomésticos, requiere energía, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, al cambio climático. Además, la generación de residuos como filtros, cápsulas de café y tazas desechables plantea un desafío considerable, ya que estos residuos pueden acumularse y contaminar el suelo y los cuerpos de agua si no se gestionan adecuadamente. Asimismo, se puede utilizar la borra del café como substrato de base para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Job, 2004).

2.2.6.5. Generación de residuos del proceso del café

Verdugo (2020) realizó un estudio en el que se evidencia que, en el sistema de producción cafetera, con respecto al destino de los subproductos generados en el proceso de beneficio, el 80% realizan un adecuado tratamiento y aprovechamiento de estos residuos, principalmente a través del proceso de compostaje y el 20% realiza una disposición inadecuada de estos subproductos arrojándolos directamente al suelo o a las fuentes hídricas. Además, producto de las matrices presentadas en el apartado de impactos ambientales de la actividad cafetalera, se presenta la Tabla 7 y la Figura 4 a manera de síntesis en la identificación de los principales residuos.

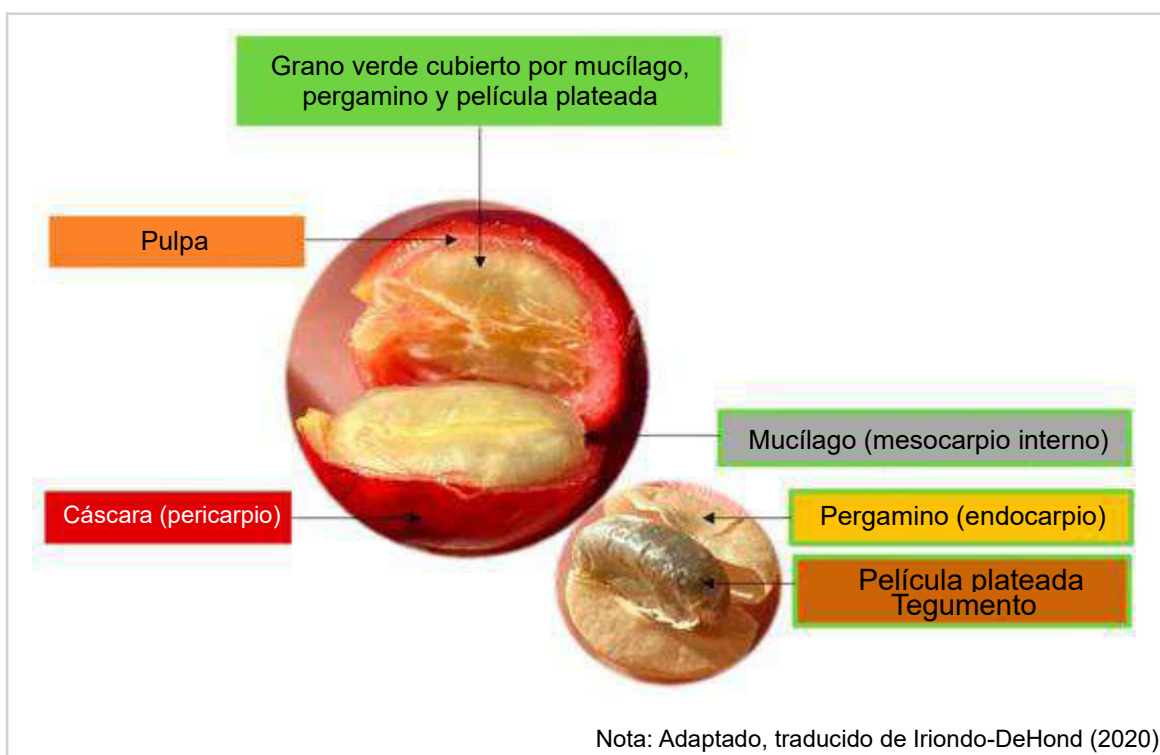


Figura 4

Identificación de subproductos del café en la anatomía de la cereza de café

Tabla 7
Principales residuos generados en las etapas del café

Etapas	Tipo de Residuos	Impactos Ambientales Potenciales	Medidas de Manejo
Despulpado	Pulpa de café	- Contaminación de cuerpos de agua por lixiviados - Atracción de plagas	- Compostaje para uso como fertilizante - Valoración agroecológica
Fermentación y Lavado	Aguas residuales con mucílago	- Contaminación del suelo y agua - Degradación de la calidad del suelo	- Tratamiento de aguas residuales - Fermentación en seco
Secado en Zaranda	Cáscaras de café	- Acumulación de residuos sólidos - Atracción de plagas	- Compostaje de cáscaras - Gestión adecuada de residuos
Trilla/Morteo	Pergamino	- Contaminación del suelo y agua - Atracción de plagas	- Compostaje o uso como biomasa - Gestión adecuada de residuos
Tostación	Cáscaras, residuos de tostación	- Acumulación de residuos sólidos - Contaminación del suelo	- Compostaje o generación de energía - Gestión de residuos
Comercialización	Materiales de empaque (plásticos, cartón, etc.)	- Contaminación del suelo y cuerpos de agua - Residuos plásticos no biodegradables	- Uso de materiales reciclables - Programas de reciclaje
Preparación y Consumo	Filtros, cápsulas, tazas desechables	- Acumulación de residuos sólidos - Contaminación del suelo y cuerpos de agua	- Uso de filtros reutilizables - Promoción de tazas reutilizables

Nota: Elaboración propia

Sobre la generación de residuos, Calle (1977) menciona que se utiliza tan solo el 9.5% del peso del fruto fresco para la obtención de la bebida de café, siendo que el 90.5% restante se convierte en residuo. Así pues, se determina los residuos generados respecto a 1 kg de café cerezo en la Tabla 8; además, de ella se desprende que solo el 6% de 1 kg de café cerezo es aprovechado para la preparación de la bebida. Asimismo, la pulpa representa casi el 40% del peso del café cerezo; además, el residuo de pergamino representa el 16% aproximadamente del café pergamino seco, cuando se elimina esta cascarilla tras el trillado, se obtiene el café oro verde. Así pues, la Tabla 9 muestra la

composición química de los subproductos del café, de acuerdo con López (2014).

Tabla 8

Subproductos del café en base a 1000 g de café cerezo

Proceso	Producto	Residuo	Masa residuo (g)	Pérdida acumulada (g)	Remanente (g)
Cosecha	Café cerezo	-	1000	0	1000
Despulpado	Café despulpado	Pulpa fresca	394	394	606
Fermentación y lavado	Café fermentado	Mucílago	216	610	390
Secado	Café pergamino	Agua	171	781	219
Trillado	Café oro verde	Pergamino	35	816	184
Tostado - torrefacción	Café tostado	Compuestos volátiles	22	838	162
Preparación de la bebida	Café (bebida)	Borra o concho	104	942	58
	Aprovechable	-	58	1000	0

Nota: Adaptado de Calle, H. (1977). *Subproductos del café. Colombia*.

Tabla 9

Composición química de los subproductos del café

Parámetros (%)	Pulpa	Cascarilla	Piel Plateada	Café utilizado
Celulosa	63.0 ± 2.5	43.0 ± 8.0	17.8 ± 6.0	8.6 ± 1.8
Hemicelulosa	2.3 ± 1.0	7.0 ± 3.0	13.1 ± 9.0	36.7 ± 5.0
Proteína	11.5 ± 2.0	8.0 ± 5.0	18.6 ± 4.0	13.6 ± 3.8
Grasa	2.0 ± 2.6	0.5 ± 5.0	2.2 ± 1.9	N.D.
Fibra total	60.5 ± 2.9	24.5 ± 5.9	62.4 ± 2.5	N.D.
Fenoles totales	1.5 ± 1.5	0.8 ± 5.0	1.0 ± 2.0	1.5 ± 1.0
Azúcares totales	14.4 ± 0.9	58.0 ± 20.0	6.65 ± 10.0	8.5 ± 1.2
Sustancias prácticas	6.5 ± 1.0	1.6 ± 1.2	0.02 ± 0.1	0.01 ± 0.005
Lignina	17.5 ± 2.2	9.0 ± 1.6	1.0 ± 2.0	0.05 ± 0.005
Taninos	3.0 ± 5.0	5.0 ± 2.0	0.002 ± 0.1	0.02 ± 1.0
Ácido clorogénico	2.4 ± 1.0	2.5 ± 0.6	3.0 ± 0.5	2.3 ± 1.0
Cafeína	1.5 ± 1.0	1.0 ± 0.5	0.03 ± 0.6	0.02 ± 0.1

Fuente: López (2014)

Así pues, a lo largo de este ciclo económico productivo se conoce con diferentes nombres al fruto del café de acuerdo con el proceso en el cual se encuentre:

A) Café cereza, es la denominación que se le da al fruto maduro de la planta del café, cuando la cáscara es de color rojizo y pulposo; por ello se le denomina “cereza”. Entre sus características están:

- Contiene dos semillas o granos de café, cada uno está cubierto por una película plateada y una cáscara dura (pergamino).
- Cuenta con una pulpa carnosa y dulce que rodea el pergamino, es rica en azúcares. El mucílago es la capa interna de la pulpa.
- Su forma es ovalada o elíptica, mide entre 12 a 18 mm de diámetro y 15-20 mm de largo aproximadamente.
- Cuando está maduro, presenta un color rojo brillante o púrpura oscuro.

Pulpa de café. Producto del despulpado del café cereza se produce la pulpa de café. Blandón-Castaño (1999), en su investigación “Caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje” obtuvo los resultados que se muestran en la Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10

Microorganismos identificados en el proceso de lombricompostaje de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago

Pulpa de café sola			Pulpa de Café con mucílago		
Fresca	Dos meses pilas	Lombricompuesto	Fresca	Dos meses pilas	Lombricompuesto
Candida	Aspergillus	Actinomadura	Acinetobacter	Actinomadura	Aeromonas
Citrobacter	Candida	Aeromonas	Alcaligenes	Aeromonas	Aspergillus
Enterobacter	Escherichia	Aspergillus	Candida	Alcaligenes	Bacilos gram(+)
Escherichia	Fusarium	Bacilos gram(+)	Citrobacter	Aspergillus	Citrobacter
Hafnia	Geotrichum	Citrobacter	Enterobacter	Candida	Cladosporium
Rhodotorula	Intraesporangium	Cladosporium	Escherichia	Citrobacter	Chromobacterium
Serratia	Klebsiella	Chromobacterium	Flavobacterium	Chromobacterium	Enterobacter
Staphylococo	Penicillium	Enterobacter	Klebsiella	Escherichia	Estaphylococo
Streptomyces	Pseudomonas	Escherichia	Proteus	Fusarium	Flavobacterium
Torulopsis	Sarcina	Flavobacterium	Pseudomonas	Geotrichum	Fusarium

Staphylococcus	Fusarium	Rhodotorula	Lactobacillus	Geotrichum
Streptomyces	Geotrichum	Saccharomyces	Nocardia	Hafnia
	Klebsiella	Serratia	Proteus	Intraesporangium
	Penicillium	Staphylococo	Pseudomonas	Klebsiella
	Providencia	Torulopsis	Rhodotorula	Nocardia
	Pseudomonas		Saccharopolyspora	Penicillium
	Streptomyces		Sarcina	Plesiomonas
	Xanthomona		Serratia	Pseudomonas
			Shewanella	Saccharomyces
			Streptomyces	Sarcina
			Vibrio	Serratia
				Streptomyces
				Torula
				Vibrio

Fuente: De Blandón-Castaño et al. (1999)

Tabla 11

Análisis físicoquímico de los sustratos de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago en tres pasos del proceso de lombricompostaje.

Determinación	Pulpa de café sola			Pulpa de café mezclada con mucílago		
	Fresca	Dos meses	Lombricompuesto	Fresca	Dos meses	Lombricompuesto
Humedad (%)	74.83	79.6	78.05	87.9	83.33	79.48
pH	4.4	8.25	8.63	4.13	7.08	9.33
Cenizas (%)	6.66	14.68	44.06	7.3	10.17	50.21
Grasas (%)	1.6	1.49	0.16	2	1.82	0.2
Proteína (%)	11	19.91	23.25	12.11	18.14	25.89
Fibra (%)	11.43	29.47	12.55	17.16	25.04	16.84
CHO solubles (%)	69.31	34.47	20	61.44	44.83	6.86
MO (%)	93.34	85.33	55.94	92.7	89.83	49.79
C/N	30.72	15.55	8.73	27.95	18.6	6.98
N (%)	1.76	3.19	3.72	1.94	2.9	4.14
P (%)	0.13	0.23	0.44	0.13	0.18	0.31
K (%)	2.82	6.55	9.64	2.75	3.79	5.5
Ca (%)	0.32	0.75	1.15	0.37	0.75	1.3
Mg (%)	0.08	0.18	0.21	0.11	0.18	0.25

Fe (ppm)	158.75	1575	3062.5	700	1170	2201.67
Mn (ppm)	69	95.5	163.33	43	96.5	179.83
Zn (ppm)	8.25	76	149.17	17.75	83.5	118.67
Cu (ppm)	9.75	15	6.92	17.75	17	7.33
B (ppm)	21.75	45	73.67	18.75	38	67.08

Fuente: De Blandón-Castaño et al. (1999).

B) Café pergamino, es el nombre utilizado para denominar al grano de café después de que las cerezas se procesan para retirar la pulpa y el mucílago, cuando en grano queda recubierto por el pergamino. Después del secado, el café pergamino debe alcanzar una humedad óptima entre el 10 al 12%.

Pergamino: El pergamino del café, también denominado endocarpio o cascarilla, es la cáscara dura y seca que envuelve los granos de café después del despulpado. Entre sus características se tiene:

- Cáscara delgada, dura, de color amarillo
- Protege al grano del café durante el proceso de secado
- Contiene celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que le otorga su dureza
- Debe ser removido antes de tostar los granos de café
- Brinda protección al grano de café frente a daños físicos y contaminación durante el transporte y almacenamiento.

De acuerdo con el trabajo realizado por Gómez et al. (2004), se caracterizó la biomasa de la cascarilla de café de la siguiente manera, en la Tabla 12.

Tabla 12

Caracterización de biomasa de la cascarilla de café

Biomasa	Análisis próximo (%)			Análisis elemental (%)			
	Humedad	Volátiles	Ceniza	C	H	O	N
Cascarilla de café	10.1	82	1.2	50.3	5.3	43.8	<1

Fuente: Adaptado de Gómez et al. (2004)

C) Café oro, es la denominación del grano del café después de haber sido separado de las envolturas de la pulpa, mucílago y pergamino, después del proceso de descascarillado o trillado. En esta etapa el café oro se encuentra listo para ser tostado y posteriormente molido. Las características que tiene son las siguientes:

- Tiene un color uniforme y olor fresco
- Contiene azúcares solubles, proteínas, lípidos y fibra.
- Presenta alto contenido de compuestos poli fenólicos y capacidad antioxidante..
- Presenta una estabilidad aceptable, con valores adecuados de humedad, actividad de agua y pH. Esto le brinda propiedades de estabilidad y conservación.

Concho de café: Después de la preparación de una taza de café, el residuo sobrante se denomina concho o borra de café. Este presenta las siguientes características:

- Presenta una apariencia oscura y textura granular
- Contiene una alta concentración de compuestos fenólicos, como ácido clorogénico, cafeína y trigonelina.
- Presenta un alto contenido de fibra dietética, como celulosa y hemicelulosa.
- El contenido de proteínas y lípidos es bajo comparados con el grano.
- Como potencial de uso se tiene que, debido a su alto contenido de compuestos fenólicos y fibra dietética, la borra del café se ha estudiado como fuente potencial de antioxidantes naturales. Asimismo, se ha evaluado para la remoción de contaminantes en aguas residuales así; así como se ha propuesto como materia prima para la producción de carbón activado.

Tabla 13

Caracterización de biomasa de la borra de café

Constituyente	Arábigo %	Robusta %
Cafeína	1,2	2,2
Trigonelina	1	0,7
Ácidos Alifáticos	1,7	1,6
Lípidos	16	10
Glucósidos	0,2	Trazas
Minerales	4,2	4,4
Ácidos clorogénicos	2,7	3,1
Proteínas	10	11
Carbohidratos	39	45,5

Fuente: Narváez et al. (2018).

2.2.6.6. Alternativas de valorización de los residuos del café

Según Urrego et al. (2021), con su investigación “Aprovechamiento de los residuos de la agroindustria del café en la elaboración de materiales compuestos de matriz polimérica”, se ha elaborado la siguiente Tabla 14.

Tabla 14

Aprovechamiento de los residuos de la agroindustria del café

Residuo	Propiedades	Uso posible (Aprovechamiento)
Pulpa de café	Rico contenido de polifenoles y cafeína (Kusumocahyo et al., 2020)	• Materia prima en productos reguladores o preventivos del padecimiento de diabetes y obesidad • Ingrediente principal en jugos, mermeladas y harina de pulpa de café • Materia prima en la elaboración de papel amate, usado como fondo de pinturas artísticas • Los compuestos bioactivos (cafeína, ácidos clorogénicos, ácido caféico, catequina, entre otros) de la pulpa de café para la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Serna-Jiménez et al., 2018)
Mucílago	Esta capa que cubre el grano de café no contiene cafeína y es rica en azúcares como la glucosa y sacarosa. (Garavito et al., 1998).	• Sustituto de concentrados en bloques de alimentación animal para cerdos y rumiantes • Endulzante en alimentos para animales • Generación de etanol, o si se realiza un proceso anaeróbico juntamente con la pulpa, pueden ser aprovechados en la generación de metano y biohidrógeno
Cascarilla de café	Su contenido está compuesto por lignina, celulosa, pentosanos, sílice y cenizas (Manals-Cutiño et al., 2018)	• Antiinflamatorio, por contenido de cafeína • Refuerzo en matrices poliméricas, como relleno matriz • Inhibidor de corrosión • Materiales para construcción, aislantes del sonido y calor • Adsorbente, de azul de metileno en aguas residuales • Regulador de diabetes, con enzimas controlan la glucosa y obesidad (cafeína como antiinflamatorio).
Piel plateada / tegumento	Es rico en fibras como celulosa, hemicelulosa y lignina, teniendo una cantidad considerable de fibra dietética. (Alemán et al., 2019)	• Colorante natural • Bebidas antioxidantes • Regulador de glucosa • Reductor de colesterol • Biocombustible (en unión con el café molido) • Refuerzo en matrices poliméricas

Concho / borra de café	Presenta alto contenido de ácidos grasos libres y su gran poder calorífico en comparación a otros residuos agrícolas. (Aiello-Mazzarri et al., 2019)	El residuo de café molido, o borra de café, después de pasar por varias etapas de transformación, puede ser transformado en: • Biodiesel • Combustible en pellets • Dihidrógeno • Etanol
---------------------------------------	--	---

Fuente: Adaptado de Urrego et al. (2021).

Así también, se tienen investigaciones donde se muestra el aprovechamiento de los residuos orgánicos derivados del café para la producción de hongos comestibles:

- Aprovechamiento de la **pulpa de café** para la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* en mezclas con otros subproductos agrícolas como aserrín de madera y bagazo de caña. (Vargas et al., 2023).
- Análisis de la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* obtenida a partir de los subproductos de la etapa de **despulpado del café**. (Mendoza, 2020).
- Evaluación del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* y de su composición nutricional en **borra de café**. (Nieto-Juárez et al., 2021).
- Caracterización del sustrato agotado del cultivo de *Pleurotus ostreatus* compuesto de **borras de café** y gramíneas, y evaluación del potencial bioquímico del metano. (Lourenço, 2022).
- Capítulo 5. Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos (**cascarilla de café** y cáscara de plátano), para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Germinando semillas para la investigación. Una estrategia de futuro en Risaralda, 377. (Sepúlveda, 2020).

2.2.7. Hongo ostra: *Pleurotus ostreatus*

Para Stamets (1983), el término *Pleurotus* se origina del griego «*Pleuro*» (que ha sido formado de manera lateral), en referencia a la posición del estípite (o pie) y el píleo (o sombrero). Mientras tanto, en latín, la palabra «*ostreatus*», en referencia al aspecto visual del cuerpo fructífero del hongo en forma de ostra.

2.2.7.1. Taxonomía de *Pleurotus ostreatus*

La especie *Pleurotus ostreatus* ha sido descrita en principio con el nombre de *Agaricus ostreatus* Jacq por Nikolaus Joseph Von Jacquin; sin embargo, más adelante P. Kumm, en 1871, le asignó su nombre actual tras la revisión de la especie. Así pues, según el portal del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad – GBIF (2023), la clasificación taxonómica del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* es la que se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Taxonomía de Pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kumm., 1871

Nivel taxonómico	Clasificación
Reino:	Fungi
División:	Basidiomycota
Clase:	Agaricomycetes
Orden:	Agaricales
Familia:	Pleurotaceae
Género:	<i>Pleurotus</i> (Fr.) P. Kum., 18711
Especie:	<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm.

Fuente: Sistema Global de Información sobre Biodiversidad – GBIF (2023)

Así pues, según Cárdenas (2015), la identificación de los hongos macroscópicos como el *Pleurotus ostreatus* se realiza de acuerdo a características taxonómicas como color, forma del píleo (sombrero) y estípite (pie), presencia y forma de la volva, estructura del himenio, el anillo e incluso el sabor y olor del hongo en sí.

- Reino Fungi**, representa un grupo diverso de organismos eucariotas que incluye hongos, levaduras y líquenes. Estos organismos se caracterizan por su nutrición heterótrofa, que implica la obtención de energía y nutrientes a partir de la materia orgánica de otros seres vivos. Además, presentan una estructura celular que contiene quitina y están ampliamente distribuidos en distintos ecosistemas. Dentro de este reino, existen varias divisiones, siendo la Basidiomycota una de las más destacadas (Guzmán, 1998; Herrera et al. 1990).
- División Basidiomycota**, es notable por su capacidad para formar basidiocarpos, estructuras reproductivas especializadas que contienen basidios y basidiosporas. Estos cuerpos fructíferos suelen ser carnosos y

efímeros, adoptando típicamente una forma de sombrilla. Esta división abarca diversas clases, entre ellas la Agaricomycetes, que agrupa a muchos de los hongos más conocidos. (Alexopoulos et al., 1996)

- c) **Clase Agaricomycetes**, incluye un amplio rango de hongos que presentan basidiocarpos con una estructura distintiva, como las setas y los hongos de madera. Estos organismos suelen tener un estípite central y un píleo, con el himenio en forma de láminas o tubos en la parte inferior del píleo. Dentro de esta clase, el orden Agaricales es uno de los más representativos (Hawksworth, 2001).
- d) **Orden Agaricales**, se caracteriza por hongos que desarrollan basidiocarpos carnosos y suaves. En este grupo, los basidios maduran de manera simultánea, lo que facilita la rápida producción de esporas. Este orden es particularmente diverso, incluyendo tanto especies comestibles como tóxicas, lo que lo convierte en un foco de interés tanto ecológico como gastronómico (Guzmán, 1998).
- e) **Familia Pleurotaceae**, incluye hongos que comúnmente crecen sobre madera en descomposición. Esta familia es de gran importancia tanto ecológica como económica, dado que muchas de sus especies son cultivadas y consumidas por humanos. Los cuerpos fructíferos de estos hongos varían en color y tamaño, y suelen presentar un crecimiento lateral (Guzmán, 1998).
- f) **Género Pleurotus**, dentro de la familia Pleurotaceae, el género *Pleurotus* agrupa varias especies de setas comestibles, siendo *Pleurotus ostreatus* una de las más conocidas. Este género se caracteriza por su crecimiento sobre madera y su capacidad para descomponer materia orgánica, desempeñando un papel crucial en los ecosistemas forestales. Las setas de este género son valoradas no solo por su sabor, sino también por sus propiedades nutricionales y medicinales (Guzmán, 1998).
- g) ***Pleurotus ostreatus***, comúnmente conocida como seta de ostra, es una especie ampliamente distribuida y cultivada a nivel mundial. Se distingue por su sombrero en forma de concha, cuyo color puede variar desde blanco hasta gris oscuro. Esta especie es apreciada no solo por su sabor

y textura, sino también por su capacidad para crecer en una variedad de sustratos, lo que la hace ideal para la producción comercial. Además, ha sido objeto de estudios por sus propiedades bioactivas y su potencial en la biorremediación de suelos contaminados (Guzmán, 1998).

El estudio y clasificación de los hongos, incluyendo las unidades taxonómicas mencionadas, es crucial para comprender su ecología, su función en los ecosistemas y su utilidad en las industrias alimentaria y farmacéutica. La taxonomía de los hongos continúa evolucionando, impulsada por avances en técnicas moleculares y filogenéticas, lo que promete descubrir aún más sobre la diversidad del reino Fungi (Blackwell, 2011).

2.2.7.2. Morfología del *Pleurotus ostreatus*

Según la descripción de Ardón (2007), los basidiocarpos de *Pleurotus ostreatus* no presentan volva ni anillo. Así mismo, su píleo puede alcanzar de 5 a 25 cm de diámetro y es ampliamente convexo, aunque a veces es casi plano en la madurez, cuenta con un margen ondulado o en forma de lóbulo; su superficie es generalmente lisa, con un color variable de tonos grises, blancos o azules, siendo su carnosidad blanca. Su estípite o pie es grueso (0.5 a 2.0 cm) y corto (0.5 a 3.0 cm).

a) Sombrero o píleo

El sombrero de *Pleurotus ostreatus* es una de las características más distintivas de esta especie. Su forma, que evoca la de una ostra, tiene un diámetro que oscila entre 5 y 20 centímetros. En su etapa joven, la superficie del sombrero es lisa y convexa, aplanándose a medida que el hongo madura. El color del sombrero es variable, con tonalidades que van desde el gris claro hasta el marrón oscuro, y puede palidecer con el tiempo, adquiriendo un matiz amarillento. (García, 1985).

b) Láminas

Otra característica distintiva de *Pleurotus ostreatus* son sus láminas. Estas se disponen de manera compacta y presentan un color crema, con una superficie lisa. Las láminas se encuentran separadas entre sí y se extienden desde el

borde del sombrero hasta el pie, facilitando la liberación de esporas. Tanto la disposición como el color de las láminas son aspectos cruciales para la identificación de esta especie (Ciappini et al., 2004).

c) Pie o estípite

El pie de *Pleurotus ostreatus* es generalmente corto y, en ocasiones, puede estar ausente, lo cual es característico de este género. Cuando está presente, el pie se inserta de manera lateral en el sombrero, lo que le confiere una apariencia asimétrica. Esta particularidad está reflejada en el nombre del género, *Pleurotus*, que en latín significa "pie desplazado" (García, 1985). La textura del pie es fibrosa, y su color varía entre blanco y crema.

d) Carne

La carne de *Pleurotus ostreatus* se caracteriza por su color blanco y una textura firme y carnosa. Con un contenido de agua que supera el 80%, este hongo destaca por su frescura y succulencia. Es apreciado en la gastronomía por su sabor suave y agradable (Ciappini et al., 2004). Además, su composición nutricional, que incluye proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, lo convierte en un alimento de alto valor nutritivo (García, 1985).

e) Esporas

Las esporas son estructuras reproductivas fundamentales en los hongos, incluyendo *Pleurotus ostreatus*, que permiten la dispersión y la colonización de nuevos sustratos. Según Aguilar-Pumahuilca et al. (2019), las esporas son células haploides que se desarrollan en el himenio de los basidiocarpos y son responsables de la reproducción sexual en los hongos. Estas estructuras son liberadas al ambiente y, al encontrar condiciones adecuadas, germinan y dan lugar a un nuevo micelio. La capacidad de producción y dispersión de esporas es crucial para la supervivencia y propagación de las especies de hongos, así como para su adaptación a diferentes hábitats y sustrato.

Así pues, el *Pleurotus ostreatus* presenta una estructura que ejemplifica de manera destacada la adaptación y funcionalidad en el reino de los hongos. Su sombrero con forma de ostra, láminas compactas, pie reducido y carne firme no solo lo distinguen visualmente (Figura 5), sino que también son clave para su éxito como especie comestible y cultivada globalmente. Comprender su morfología es esencial para optimizar su cultivo y su uso en la industria alimentaria.

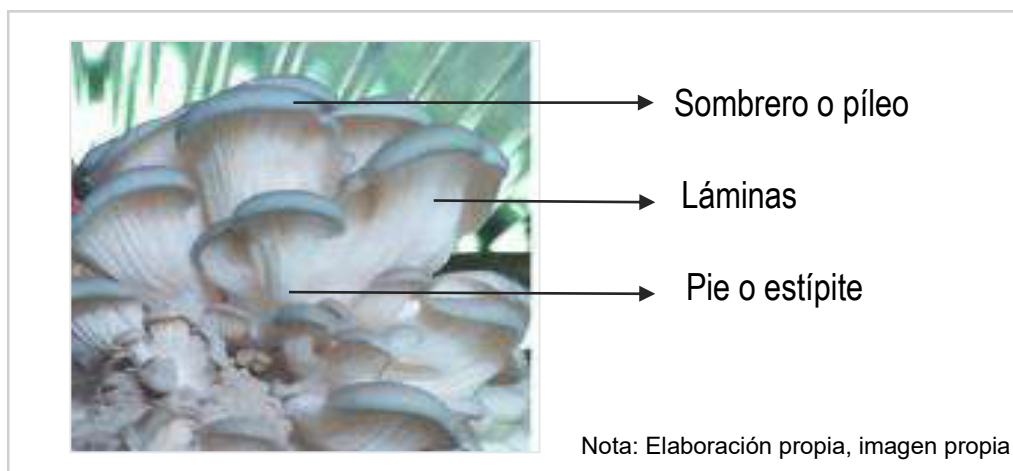


Figura 5

Partes principales del hongo Pleurotus ostreatus

2.2.7.3. Propiedades de *Pleurotus ostreatus*

Pleurotus ostreatus es un hongo que proporciona una variedad de propiedades y aplicaciones, haciéndolo valioso en los campos de la alimentación, la medicina y la agricultura. Su perfil nutricional, junto con sus beneficios medicinales y su versatilidad en la cocina, lo posicionan como un alimento funcional que puede favorecer una dieta equilibrada. Además, su habilidad para descomponer residuos y su potencial en la biorremediación subrayan su relevancia en la sostenibilidad ambiental.

a) Propiedades Nutricionales

Las setas son consideradas un alimento saludable y nutritivo por su contenido bajo en carbohidratos y grasas, rico en proteínas, vitaminas y minerales. Muchas investigaciones han reportado que el hongo *Pleurotus ostreatus* tienen un alto valor proteico que varían de 10 a 45 % en materia seca (Khan

et al., 2012; Corrêa et al. 2016; Martínez-Carrera et al., 2000), con bajo contenido en carbohidratos (36 - 48%) y grasas (0.5 - 5.0%), haciéndolo un alimento con una calidad de contribución nutricional alta para la dieta diaria. Los principales micronutrientes que los contienen son K y P, seguido por Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Se, entre otros, los cuales su inclusión en la dieta diaria podría servir como una estrategia para combatir enfermedades con deficiencias nutricionales de Fe, Zn, entre otros. Sin embargo, dichas composiciones nutricionales son dependientes del residuo lignocelulósico utilizado, la especie del hongo y las condiciones ambientales del cultivo (Khan et al., 2012; Rodríguez et al., 2004).

En general, las especies del género *Pleurotus* son especialmente destacables desde un punto de vista nutricional debido a su contenido proteico, que oscila entre el 27% y el 48% en base seca, así como por sus bajos niveles de lípidos, situados entre el 2% y el 8%. Además, presentan niveles aceptables de ácidos nucleicos y contienen una variedad de vitaminas, minerales, fibra dietética, betaglucanos y compuestos con actividad antioxidante (Bermúdez et al., 1994).

Específicamente, *Pleurotus ostreatus* posee un alto contenido de carbohidratos, aproximadamente un 57%, y un 14% de fibra cruda, de la cual un 47% corresponde a fibra dietética. Los carbohidratos en este hongo incluyen pentosas, hexosas, sacarosa, alcoholes de azúcar, ácidos azúcares, metilpentosas y amino azúcares como la quitina (López et al., 1994).

El *Pleurotus ostreatus* también es una fuente considerable de ácido ascórbico (vitamina C), con contenidos que varían entre 36 y 58 mg por cada 100 gramos de peso seco, lo que los convierte en una excelente fuente de antioxidantes y agentes reductores. Estos atributos los hacen útiles en la elaboración de suplementos nutricionales y en el tratamiento de condiciones como el escorbuto, la diabetes, la hipoglucemia y el cáncer (Chang et al., 1998).

Por otro lado, el contenido de ergosterol presente en *P. ostreatus* se transforma en vitamina D cuando el hongo se deshidrata al sol, exponiéndose a la luz ultravioleta. Este proceso convierte a las setas secas en una buena

fuentes de vitamina D, esencial para la absorción de calcio y el desarrollo saludable de huesos y dientes (Chang et al., 1998).

En cuanto a su contenido mineral, los hongos *Pleurotus* absorben los minerales del sustrato en el que se cultivan. Comúnmente, contienen cantidades significativas de fósforo y potasio, además de zinc, cobre, magnesio y fósforo. También presentan niveles moderados de hierro, manganeso y potasio (Potter, 1995).

En resumen, el *Pleurotus ostreatus* es una especie de hongo con un perfil nutricional completo que incluye altos niveles de carbohidratos, fibra dietética, antioxidantes, y minerales esenciales, lo que lo convierte en un alimento funcional con múltiples beneficios para la salud.

b) Propiedades Medicinales

Además de sus reconocidos beneficios nutricionales, el hongo *Pleurotus ostreatus* posee importantes propiedades medicinales, las cuales han sido ampliamente investigadas tanto en el ámbito de la medicina tradicional como en la medicina moderna. En general, los hongos contienen una variada gama de metabolitos secundarios, entre los que se destacan los compuestos fenólicos, conocidos por su potente acción antioxidante. En este contexto, se ha demostrado que algunos hongos cultivados, como *Pleurotus ostreatus*, presentan actividades significativas en la neutralización de radicales libres y en la acción antioxidante (Zaragoza, 2011).

Por lo general, el hongo comestible *P. ostreatus* muestra una destacada capacidad antioxidante, como lo han evidenciado diversos estudios realizados sobre la materia prima cruda. Sin embargo, estos hongos suelen someterse a diferentes tratamientos térmicos antes de su consumo, lo que podría no solo modificar sus propiedades organolépticas, sino también afectar potencialmente sus propiedades antioxidantes (Ramírez, 2009). De acuerdo con García-Vergara (2022), las propiedades antioxidantes del *Pleurotus ostreatus* antes de la exposición a tratamientos térmicos están asociadas con la presencia de compuestos fenólicos, tocoferoles, esteroides, polisacáridos, vitaminas y actividad enzimática oxidativa.

En cuanto a la actividad antitumoral, los polisacáridos presentes en los hongos son, en muchos casos, los compuestos más potentes. Estudios científicos han demostrado que los polisacáridos de los champiñones pueden inhibir la oncogénesis, actuar directamente contra diversos tipos de tumores y, además, prevenir la metástasis tumoral. De hecho, su efectividad se incrementa cuando se emplean en conjunto con tratamientos de quimioterapia (Wasser, 2011).

Adicionalmente, entre las diversas especies de hongos, destaca el género *Pleurotus* por su potencial efecto regulador del metabolismo del colesterol. Estos hongos tienen la capacidad de sintetizar lovastatina, una estatina altamente hipocolesterolémica, ya que inhibe la enzima HMG-CoA reductasa, que es fundamental en la regulación de la biosíntesis de colesterol en el hígado (García, 2018). De acuerdo con Fernández et al. (2020), el hongo ostra cuenta con estudios que lo relacionan con propiedades inmunomoduladoras, antihipertensivas, hipolipemiantes y antidiabéticas, como se detalla en la Tabla 16.

Tabla 16

*Propiedades medicinales de *Pleurotus ostreatus* y sus mecanismos de acción*

Propiedad	Bioactivo/Extracto	Mecanismo	Referencia
Inmunomoduladora	Polisacárido del tipo β -glucano (Pleuran)	Efectivo en la prevención de las infecciones recurrentes del tracto respiratorio	Jesenak et al. (2013, 2014)
Antihipertensiva e Hipolipemiante	No especificado	Reducción significativa de la presión arterial sistólica y diastólica, de la glucemia, colesterol total y triglicéridos (in vivo)	Khatun et al. (2007)
Hipolipemiante	Polvo de seta de ostra	Ningún efecto sobre la reducción de los niveles de lípidos en pacientes con VIH que reciben tratamiento antirretroviral (ART)	Abrams et al. (2011)
Antidiabética	Polvo de la seta de ostra	Disminuye los niveles de glucosa	Jayasuriya et al. (2015)

Fuente: Adaptado de Fernández et al. (2020)

Es importante también subrayar la actividad antiviral del género *Pleurotus*. Una enzima aislada de estos hongos ha demostrado ser capaz de inhibir la entrada del virus de la hepatitis C en las células sanguíneas, impidiendo así

su replicación (El-Fakharany y cols., 2010). Además, *Pleurotus* contiene pleuran, un polisacárido tipo β -glucano que se encuentra en las especies de este género y que ha mostrado una significativa actividad anti carcinogénica, así como propiedades inmunoestimulantes (Bobovčák y cols., 2010).

a) Usos Culinarios

A su vez, *Pleurotus ostreatus* es ampliamente utilizado en la gastronomía debido a su sabor suave y su textura carnosa. Este hongo se puede preparar de diversas maneras, incluyendo salteado, al horno, en sopas y guisos. Su versatilidad en la cocina lo hace un ingrediente popular en muchas culturas culinarias alrededor del mundo (García, 1985). Además, su capacidad para absorber sabores lo convierte en un excelente acompañante para una variedad de platos, desde recetas vegetarianas hasta platos de carne. Su uso en la cocina no solo mejora el sabor de los alimentos, sino que también aporta valor nutricional adicional (López-Rodríguez, C., 2008).

Según lo indica Ortiz (2020), el hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*), es muy versátil, tanto en su cultivo como en el ámbito gastronómico debido a sus características y texturas favorables que logran fusionarse a la perfección en diferentes preparaciones o a su vez también combinar con diversos alimentos logrando platos de alto valor nutritivo con beneficios no sólo nutricionales sino también medicinales.

b) Usos en la Agricultura y Biotecnología

El *Pleurotus ostreatus*, comúnmente conocido por su uso en aplicaciones agrícolas y biotecnológicas, es un hongo que destaca por su capacidad para descomponer residuos lignocelulósicos, lo que lo convierte en un agente efectivo en la bioconversión de desechos tanto agrícolas como forestales. Este hongo puede ser cultivado en una variedad de sustratos, tales como paja, aserrín y residuos de café, lo que no solo ayuda a reducir la cantidad de desechos acumulados, sino que también resulta en la producción de un alimento con alto valor nutritivo (López-Rodríguez et al. 2008; Nieto-Juárez et al., 2019). Además, se ha investigado su potencial en la biorremediación, aprovechando su capacidad para degradar compuestos tóxicos, lo que lo convierte en un recurso valioso para la limpieza de suelos contaminados.

En investigaciones realizadas por Nevárez (2012), se examinó el crecimiento y producción de *P. ostreatus* en diferentes sustratos, determinando que algunos residuos agroforestales resultan óptimos para su cultivo. Esto resalta su potencial en el ámbito de la sostenibilidad agrícola y en la minimización de desechos. Asimismo, *P. ostreatus* ha mostrado promesa en la producción de materiales biocompuestos, con estudios recientes que señalan su capacidad para crear un material similar al poliestireno expandido (EPS) utilizando afrecho de malta y salvado de trigo como base. Esta innovación no solo ofrece una alternativa ecológica al EPS, sino que también aborda el problema de los residuos plásticos (Síaz et al., 2024).

El papel de *P. ostreatus* en la biorremediación también ha sido objeto de estudio, evidenciándose su capacidad para degradar contaminantes presentes en efluentes industriales, lo cual subraya su utilidad en la descontaminación de ambientes afectados (Rodríguez et al., 2003). Finalmente, la incorporación de este hongo en productos alimenticios, particularmente en formulaciones cárnicas, ha demostrado mejorar la calidad nutricional de estos alimentos, debido a su contenido de nutrientes y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Angulo Zubieta et al., 2020).

c) Beneficios económicos

En los últimos años, el mercado global de *Pleurotus ostreatus* ha mostrado un notable crecimiento. Según Business Research Insights (2023), el valor del mercado mundial de este hongo fue de 5.080,5 millones de dólares en 2021, y se espera que alcance los 7.108,85 millones de dólares para 2031, lo que representa una tasa de crecimiento anual compuesta del 3,4% en dicho período. Este incremento está impulsado principalmente por la creciente demanda de alimentos saludables y nutritivos, así como por la versatilidad de estos hongos en distintas aplicaciones.

América del Norte lidera la producción y el consumo de *P. ostreatus*, debido a factores como la urbanización, la industrialización, y una mayor conciencia sobre la salud y la nutrición. La preferencia por alimentos saludables ha sido

un factor clave para el crecimiento de este mercado, tal como lo señala el informe de Business Research Insights (2023).

En cuanto a Perú, aunque no existen cifras precisas sobre la producción y exportación de *P. ostreatus*, se reconoce un considerable potencial para su desarrollo. Córdova (2021) destaca que este hongo tiene un alto contenido de proteína bruta (30%) y puede cultivarse de manera económica en sustratos como la pulpa de café. No obstante, el desarrollo de la producción y consumo en Perú enfrenta limitaciones debido a la falta de información científica y conocimiento cultural sobre este hongo comestible.

En este contexto, el uso de la borra de café como sustrato no solo es factible para el cultivo de *P. ostreatus*, sino que también mejora su perfil nutricional. El estudio de Córdova (2021) evaluó tanto la productividad como el valor nutricional del hongo cultivado en sustrato de café, concluyendo que este tipo de sustrato puede incrementar el rendimiento y el contenido proteico del hongo. Además, la borra de café, al ser un residuo lignocelulósico, proporciona un ambiente favorable para el crecimiento del hongo y contribuye a la reducción de residuos agroindustriales.

Así pues, el mercado global de *Pleurotus ostreatus* sigue en expansión, impulsado por la demanda de alimentos saludables y la capacidad de utilizar diversos residuos agroindustriales como sustratos de cultivo. Países con un alto potencial, como Perú, podrían aprovechar esta tendencia mediante inversiones en investigación y educación que promuevan el conocimiento sobre las propiedades nutricionales y medicinales de este hongo versátil.

2.2.7.4. Ventajas y desafíos de la producción de *Pleurotus ostreatus*

Se presenta un análisis FODA que resalta tanto las ventajas como los desafíos que enfrenta la producción de *Pleurotus ostreatus*:

FORTALEZAS

- a) **Uso de Residuos Agroindustriales:** La producción de *Pleurotus ostreatus* se beneficia del uso de residuos lignocelulósicos como sustratos de cultivo, lo que reduce costos y contribuye a la sostenibilidad ambiental (Taboada, 2011).

- b) **Alto Valor Nutricional:** Este hongo presenta un alto contenido proteico y micronutrientes, lo que lo convierte en un alimento atractivo para el mercado.
- c) **Eficiencia Biológica:** Se han reportado altos porcentajes de eficiencia biológica en el cultivo, alcanzando hasta un 76.1% en sustratos adecuados como el capacho de uchuva (López-Rodríguez et al., 2008).
- d) **Crecimiento Rápido:** *Pleurotus ostreatus* tiene un ciclo de cultivo relativamente corto, lo que permite varias cosechas en un año y una rápida rotación de producción.

OPORTUNIDADES

- a) **Crecimiento del Mercado:** El mercado global de *Pleurotus ostreatus* está en expansión, con proyecciones de crecimiento que alcanzan los 7.108,85 millones de dólares para 2031 (Business Research Insights, 2023).
- b) **Conciencia sobre Alimentos Saludables:** La creciente demanda de alimentos saludables y nutritivos abre nuevas oportunidades para la comercialización de este hongo.
- c) **Investigación y Desarrollo:** La inversión en investigación sobre el uso de sustratos alternativos y técnicas de cultivo puede mejorar la producción y la calidad del hongo.
- d) **Mercados Locales y Exportación:** El desarrollo de mercados locales y la posibilidad de exportar a regiones donde la demanda de hongos comestibles está en aumento.

DEBILIDADES

- a) **Falta de Información:** Existe una escasez de información científica y cultural sobre el cultivo y las propiedades de *P. ostreatus* en regiones como Perú, lo que limita su producción y consumo (Córdova, 2021).
- b) **Dependencia de Condiciones Ambientales:** La producción puede verse afectada por factores ambientales, como la temperatura y la humedad, que son cruciales para el crecimiento del hongo.

- c) **Variabilidad en la Eficiencia:** Los porcentajes de eficiencia biológica pueden variar significativamente según el tipo de sustrato utilizado y las condiciones de cultivo, lo que puede afectar la rentabilidad.

AMENAZAS

- a) **Competencia en el Mercado:** La creciente competencia de otros hongos comestibles y productos agrícolas puede afectar la cuota de mercado de *Pleurotus ostreatus*.
- b) **Cambios Climáticos:** Las alteraciones en las condiciones climáticas pueden impactar negativamente la producción y la calidad del hongo.
- c) **Enfermedades y Plagas:** La susceptibilidad a enfermedades y plagas puede representar un riesgo significativo para los cultivos de *Pleurotus ostreatus*.
- d) **Regulación y Normativas:** Cambios en las regulaciones sobre producción agrícola y uso de residuos pueden afectar la viabilidad de los sustratos utilizados en el cultivo.

2.2.7.5. Producción de *Pleurotus ostreatus*

a) Preparación del inóculo

Esta etapa se realiza generalmente en condiciones de laboratorio, donde se puedan garantizar las condiciones de desarrollo. Según Sánchez (1994), este procedimiento se refiere a la siembra y propagación del micelio; la siembra se realiza en una placa Petri, sobre agar con extracto de malta, papa y dextrosa, entre otros. Luego se realiza el proceso de incubación a 28° C por 8 días en completa oscuridad. Después de este tiempo, se resiembra el hongo en un sustrato intermedio, como maíz, arroz, trigo o sorgo; después de esto, el conjunto grano y hongo sirven como semilla definitiva en la siembra del sustrato.

b) Preparación del inóculo primario

Según Aldana (2000), el grano colonizado que fue elegido sustrato intermedio se rehidrata en agua limpia de 15 a 24 horas según el grano y luego se escurre; luego, se separan en porciones de 200 gramos y

se introducen en bolsas de poli papel, después se esterilizan (121 ° C, 30 minutos). En condiciones asépticas, se deja enfriar para luego proceder a la inoculación con micelio proveniente del hongo cultivado en placa Petri. Después de inoculadas, las porciones de inóculo primario en cada bolsa son incubadas en oscuridad (28° C, 10 a 15 días).

c) Preparación del inóculo secundario

Se denomina inóculo secundario, según Aldana (2000) a una nueva porción incubada en las condiciones del inóculo primario, una vez que el hongo ha crecido. Este inóculo secundario es generalmente empleado como semilla de siembra ya que minimiza el consumo de agar pues la propagación del hongo en este es más rápida, por su adaptación al grano en procesos anteriores. De esta manera, se puede inocular más cantidad de sustrato.

d) Preparación del sustrato

Los sustratos empleados para la producción de *Pleurotus ostreatus* son variados según la disponibilidad de residuos locales. Para Rodríguez et al. (2004), en esta etapa se adecuan los materiales en cuanto a tamaño y forma, esto para facilitar el acceso rápido del micelio al material orgánico.

De acuerdo con Sánchez (1994) comprenden esta etapa las actividades de picado, secado, fracturación, hidratación y escurrimiento, la pasteurización, la fermentación y/o el enfriamiento. Según el autor, el proceso de fermentación se recomienda para material orgánico como pulpa de café y bagazo, los cuales presentan abundantes azúcares solubles, que podrían facilitar la invasión de organismos ajenos al hongo que se desea producir. Así pues, si estos carbohidratos no son minimizados, estos se transforman en ácidos, lo cual atrae a insectos como las moscas, las cuales depositan sus huevos en el sustrato y se alimentan del micelio.

e) Siembra e incubación

La etapa de siembra se refiere, según Aldana (2000) a la inoculación del sustrato con el inóculo secundario y la incubación es el periodo de reposo para la adecuación del micelio a su nuevo ambiente, el cual

puede ser una bolsa de polietileno de tamaños manejables. Así pues, en esta etapa se procede a la mezcla del micelio (en grano de cereal) con el sustrato, de manera homogénea. Después de la siembra, la bolsa se anuda eliminando el aire interior. Dependiendo del sustrato, la incubación tomará entre 10 a 15 días en condiciones de temperatura óptimas (28° C). Después de la siembra se realizan perforaciones en la bolsa, sin dejar el sustrato demasiado expuesto, pero permitiendo el intercambio de gases.

f) Inducción y fructificación

Para Sánchez (1994), una vez que el micelio ha cubierto completamente el sustrato y su superficie se ha tornado algodonosa, se procede a llevar el material a una sala de fructificación, donde las condiciones de luminosidad y ventilación son mayores; asimismo, es necesaria la aplicación de riego para aumentar la humedad y evitar que el sustrato se seque. En esta fase empiezan a aparecer los primordios, los primeros cuerpos fructíferos.

g) Cosecha

La cosecha de *Pleurotus ostreatus* debe realizarse en el momento óptimo para asegurar tanto la calidad como el rendimiento del cultivo. Sánchez (1994) señala que la cosecha se define por ciertos indicadores morfológicos del hongo, como el tamaño del sombrerillo, que debe medir entre 4 y 13 cm de diámetro, y su superficie, que debe ser lisa y brillante, con un margen fino y ondulado. Las láminas también son un indicador importante: deben ser de color blanco o crema, decurrentes y ampliamente espaciadas.

El tiempo de desarrollo del hongo es otro factor crucial en la determinación del momento adecuado para la cosecha. Según Córdova (2021), los primordios de *P. ostreatus* suelen aparecer entre 10 y 15 días después de la siembra, y la recolección óptima ocurre entre 15 y 25 días después de su aparición. Este es el período en el que el hongo alcanza su mayor tamaño y calidad, aspectos esenciales para su comercialización y consumo. Además, es importante realizar la cosecha antes de que el hongo empiece a liberar esporas, ya que esto podría deteriorar tanto su apariencia como su calidad.

2.2.7.6. Factores positivos para la producción

De acuerdo con Sánchez (1994), el hongo ostra es susceptible a los cambios de luminosidad, ventilación, temperatura y humedad, los cuales son los factores ambientales que determinan el proceso productivo de los hongos. Así pues, los valores óptimos para el crecimiento de *Pleurotus ostreatus* son los siguientes para el crecimiento micelial: temperatura de 25 a 33 ° C, humedad relativa baja, humedad del sustrato de 70%, CO₂ en concentraciones de 20 a 25%. pH del sustrato de 6.0 a 7.0 y oscuridad. Sin embargo, para la fructificación se necesita una luminosidad de 150 a 200 lux, una humedad del sustrato de 50%, una humedad relativa de 50%, concentración de CO₂ inferior a 0.6 % y una temperatura de alrededor de 28° C.

Entre los factores positivos tenemos:

- a) **Sustratos:** Los residuos agroindustriales contienen tres grandes polímeros estructurales, celulosa, hemicelulosa y lignina, con los que pueden ser fácilmente utilizados o degradados por las enzimas lignocelulósicas. La especie del hongo *Pleurotus* Spp son los organismos más eficientes para degradar lignina, con la capacidad de producir principalmente lacasas y peroxidasas de lignina (Adebayo et al., 2012).
- b) **Temperatura:** La temperatura que el hongo ostra requiere a lo largo de las etapas de su producción varía; sin embargo, la temperatura óptima para el crecimiento de *P. ostreatus* se sitúa entre 18°C y 25°C. Temperaturas por debajo de 10°C o por encima de 35-40°C pueden resultar letales para el hongo. García (1985) señala que estas temperaturas extremas pueden afectar negativamente el desarrollo y la producción de cuerpos fructíferos.
- c) **Humedad relativa:** Es necesario que la temperatura en el sitio de incubación permanezca con una humedad relativa alrededor de 70 a 80% y escasa iluminación, teniendo en cuenta que estas características pueden variar dependiendo de la especie (Fernández, 2004). Según García (1985), la humedad relativa debe mantenerse entre el 85% y el 95% para favorecer el crecimiento del micelio y la producción de cuerpos fructíferos ya que niveles de humedad inadecuados pueden llevar a la

deshidratación del sustrato o a la proliferación de contaminantes, afectando así el rendimiento.

d) Luminosidad: Aunque *P. ostreatus* no requiere luz para el crecimiento del micelio en la fase de incubación, la exposición a luz indirecta durante la fase de fructificación es beneficiosa y necesaria. Se recomienda un ciclo de luz de aproximadamente 12 horas, lo que ayuda en la formación de cuerpos fructíferos. Kalmis et al. (2004) hace referencia a 12 horas de luz artificial (600 lux) para una cosecha; a su vez, García (1985) señala que se necesita una iluminación diurna de 60 – 200 lux para la producción de setas.

e) Relación Carbono/Nitrógeno (C/N): La proporción de carbono y nitrógeno en los residuos afecta el tiempo de crecimiento del micelio, ya que el hongo emplea el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para construir componentes celulares y nuevas células durante el desarrollo de sus hifas, lo que incrementa la tasa de colonización del micelio en el sustrato. Se ha observado que, tras la cosecha de los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus* en materiales utilizados como sustratos, las cantidades finales de hemicelulosa, celulosa y lignina se reducen hasta en un 80%. Esto sugiere que cualquier material que contenga estos compuestos con bajo contenido de nitrógeno puede ser utilizado como sustrato para *Pleurotus* spp. (Garzón et al., 2008).

f) Potencial de Hidrógeno (pH):

El rango de pH ideal para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* se sitúa típicamente entre 5.0 y 6.0. Este intervalo es esencial para el desarrollo del hongo, ya que impacta tanto la disponibilidad de nutrientes como la actividad metabólica del micelio. Ríos et al. (2010) demostraron que sustratos con pH ácido, por debajo de 4.5, pueden inhibir el crecimiento de *P. ostreatus* y *P. eryngii*. Por el contrario, estos hongos prosperan en un pH que varía entre 5.0 y 6.5. Un pH demasiado bajo puede ser perjudicial, ya que limita la colonización del sustrato y disminuye la producción de cuerpos fructíferos. Mantener el pH dentro del rango óptimo es, por tanto, clave para maximizar la eficiencia del cultivo de estos hongos.

2.2.7.7. Factores negativos para la producción

Sánchez (1994) señala que la contaminación en los sustratos o inóculos se debe a una desinfección inadecuada o a condiciones de asepsia deficientes en el manejo del proceso y del ambiente de trabajo. Por lo tanto, es fundamental mantener un alto nivel de limpieza y orden en áreas de incubación, inoculación, siembra y fructificación. Según Aldana (2000), tanto las enfermedades bióticas como abióticas también pueden perjudicar el desarrollo de *Pleurotus ostreatus*. Factores como la competencia de organismos, la falta de nutrientes específicos y condiciones ambientales desfavorables pueden impactar negativamente el crecimiento del hongo.

García (1987) menciona que los dípteros y colémbolos son las plagas más comunes en este cultivo, y que las enfermedades suelen ser provocadas por hongos patógenos, competidores, bacterias y virus. Corpas et al. (2002) encontraron que la contaminación con hongos del género *Trichoderma*, que acidifican el sustrato reduciendo su pH, está asociada con la falta de floración de *Pleurotus* spp. En cuanto a enfermedades bacterianas, Iacobellis et al. (1997) destacan que las infecciones por *Pseudomonas tolaasii* y *Pseudomonas agarici* son una de las principales causas de pérdidas en la producción de hongos.

Ortiz et al. (2014) describen diversas plagas y enfermedades que afectan el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, así como los métodos para su control. Dentro de las plagas más comunes se encuentran nemátodos, moscas Sciárida, ácaros, colémbolos, y cochinillas. Se considera plaga cuando un grupo de animales fitófagos (que se alimentan de plantas u hongos cultivados) causa pérdidas económicas que superan un determinado umbral.

- a) **Plagas.** Los cultivos de *Pleurotus ostreatus* pueden ser afectados por distintos tipos de moscas, incluyendo sciaridas, foridas y cecidas. Las larvas de estas moscas causan daños significativos al invadir los carpóforos y pies de las setas desde el inicio de la siembra, alimentándose del sustrato, micelio, setas y semillas. En infestaciones severas, los

sombreros de los hongos pueden quedar desmoronados y necróticos. Además, estas moscas son vectores de enfermedades, ácaros, virus y bacterias, pudiendo completarse hasta dos generaciones antes de la eliminación del sustrato. (Ortiz et al., 2014)

- b) **Métodos de control.** Para controlar las plagas de dípteros, Ortiz et al., (2014) recomiendan medidas preventivas como el tratamiento térmico del sustrato a 80°C para eliminar huevos y larvas, el uso de trampas para moscas y telas mosquiteras, la limpieza diaria con formol o hipoclorito, y la desinfección previa del local de cultivo. En casos extremos, se sugiere el uso de tratamientos químicos como deltametrina, ciromazina o diflubenzuron, aplicados mediante nebulización o pulverización según las dosis recomendadas. (Ortiz et al., 2014)
- c) **Enfermedades del cultivo.** Las enfermedades en los cultivos de *Pleurotus ostreatus* se presentan cuando se producen alteraciones en la morfología o fisiología del hongo, ya sea por causas parasitarias o no. Según Ortiz et al. (2014) entre las enfermedades más comunes se encuentran:
- *Trichoderma viride* o moho verde: Común en el sustrato, se propaga por aire o está presente en los suelos, favorecida por ambientes ácidos. Su presencia indica fallas en la fermentación, pasteurización o acondicionamiento del sustrato.
 - *Dactylium dendroides* o telaraña: Crece rápidamente cubriendo el sustrato y las setas, causando que se vuelvan blandas y amarillentas. Se controla con cal viva, sal, formalina al 2%, o sulfato de cobre, y se deben retirar las cepas infectadas del cultivo.
 - *Pseudomonas tolosi* o mancha bacteriana: Se manifiesta con manchas amarillas pegajosas en las setas, provocada por mala preparación del sustrato, ventilación deficiente o riego excesivo. Se combate con cloruro cálcico disuelto en agua.

Además, hongos competidores y contaminantes como *Penicillium*, *Aspergillus*, y otros pueden aparecer debido a una mala pasteurización del sustrato o falta de higiene, impidiendo el crecimiento micelial adecuado.

d) **Recomendaciones generales.** Ortiz et al. (2014) ofrecen diversas recomendaciones para evitar la contaminación del cultivo mediante prácticas ayudan a minimizar la presencia de plagas y enfermedades, tales como:

- No sembrar con sustrato caliente para evitar la debilitación o muerte del micelio.
- Sembrar el sustrato dentro de los 2-3 días posteriores a la pasteurización, o de lo contrario volver a pasteurizar.
- Desinfectar manos y pies durante la siembra para reducir la propagación de contaminantes.
- Usar micelio de alta calidad y en la concentración adecuada (3% del peso húmedo del sustrato).
- Mantener un estricto control de temperatura y tiempo de pasteurización.
- Eliminar inmediatamente las bolsas contaminadas y limpiar periódicamente el área de trabajo.

2.2.7.8. *Pleurotus ostreatus* y seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria es un concepto esencial que hace referencia a la situación en la cual todas las personas cuentan con acceso físico, social y económico a alimentos que sean seguros, nutritivos y suficientes para cubrir sus necesidades dietéticas y preferencias, lo que les permite llevar una vida activa y saludable. Este concepto fue formulado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) durante la Cumbre Mundial de la Alimentación en 1996, donde se determinó que la seguridad alimentaria se alcanza cuando "todas las personas, en todo momento, disponen de acceso físico y económico a alimentos en cantidad suficiente, seguros y nutritivos".

Según la investigación de Bermúdez-Savón et al. (2013), una estrategia sostenible para mejorar la seguridad alimentaria y energética en zonas rurales y urbanas es la utilización de la fermentación en estado sólido para la biotransformación de subproductos agrícolas lignocelulósicos, empleando hongos basidiomicetos de pudrición blanca. Un ejemplo de esta tecnología es

el cultivo de setas comestibles del género *Pleurotus spp.*, que pueden crecer sobre sustratos como pulpa de café (Rojas, 2016), cáscaras de coco y cacao, aserrín y sus mezclas. Estos subproductos, que son difíciles de manejar y en grandes cantidades pueden contaminar el suelo y el agua, se convierten en una opción viable para la producción de alimentos nutritivos, especialmente en países en desarrollo.

Además, Bermúdez-Savón et al. (2013), sostiene que esta tecnología tiene múltiples beneficios: el bajo costo de producción, el alto contenido proteico de las setas y la posibilidad de obtener grandes cantidades en un corto período. No solo se producen alimentos para consumo humano, sino que el sustrato residual, tras la cosecha de las setas, queda detoxificado, con un contenido proteico adecuado y valores de digestibilidad superiores a los originales. Este residuo puede ser utilizado como complemento en la dieta animal o como abono orgánico. De esta manera, no solo se reducen los problemas de contaminación ambiental, sino que también se promueve el desarrollo sostenible de las comunidades.

2.3. Definición de términos

- **Agricultura sostenible:** Prácticas agrícolas que buscan maximizar la producción de alimentos de manera sostenible, minimizando el impacto ambiental y promoviendo la equidad social.
- **Agroecología:** Es una disciplina científica y un enfoque práctico que combina principios de ecología y ciencias sociales para el diseño, desarrollo y gestión de sistemas agrícolas sostenibles. La agroecología promueve prácticas agrícolas que mejoran la biodiversidad, optimizan el uso de recursos naturales y fortalecen las comunidades locales, integrando aspectos ecológicos, económicos y sociales en la producción de alimentos.
- **Agroecológica:** Este término refiere a prácticas agrícolas que promueven la sostenibilidad, la conservación del medio ambiente y la biodiversidad en los sistemas de producción de alimentos. La valorización de los residuos de café mediante el cultivo de *Pleurotus ostreatus* se considera una práctica agroecológica porque utiliza recursos renovables y locales,

reduce la dependencia de insumos externos y promueve la biodiversidad en los agroecosistemas.

- **Biodegradación:** Es el proceso mediante el cual los materiales orgánicos son descompuestos por la acción de microorganismos, como bacterias y hongos, en sustancias más simples. La biodegradación es esencial para el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas naturales y es una característica importante en el manejo de residuos y en la mitigación de la contaminación ambiental, facilitando la conversión de residuos en formas inocuas o reutilizables.
- **Biodiversidad:** Es la variedad de vida en todas sus formas, niveles y combinaciones, incluyendo la diversidad genética dentro de especies, la diversidad de especies en un ecosistema y la diversidad de ecosistemas en una región. La biodiversidad es fundamental para la salud y estabilidad de los ecosistemas, ya que contribuye a la resiliencia frente a cambios y perturbaciones ambientales.
- **Café cerezo:** Es el fruto maduro del cafeto, caracterizado por su forma de cereza y un color que varía de verde a rojo o amarillo cuando alcanza la madurez. En esta etapa, el café cerezo contiene en su interior dos semillas, que son los granos de café, cubiertas por una pulpa dulce y una capa de mucílago.
- **Café oro verde:** También conocido como café en grano verde, es el estado del café después de haber sido despulpado, fermentado, lavado y secado, pero antes de ser tostado. En esta fase, el grano de café ha sido separado de su cáscara y mucílago, y se presenta en su forma natural, listo para la comercialización o tostado.
- **Café pergamino:** Se refiere a los granos de café que aún conservan una capa protectora llamada "pergamino" después de la despulpación y secado. Esta capa es una envoltura delgada que rodea el grano y que debe ser removida antes de pasar a la etapa de tostado. El café pergamino es una forma intermedia entre el café cerezo y el café oro verde.

- **Cascarilla o pergamino:** La cascarilla del café es la capa externa y dura que recubre el grano de café. Es una parte importante del fruto del café y constituye una fracción significativa de los residuos generados durante el procesamiento del café. La cascarilla amarilla protege al grano de café durante su crecimiento en la planta y durante el proceso de secado y almacenamiento. Una vez que los granos de café son cosechados, procesados y secados, la cascarilla se separa del grano durante el proceso de trillado del café.
- **Comunidad de Shucush:** Referencia a la localidad específica donde se lleva a cabo el estudio, ubicada en la región de Amazonas.
- **Concho:** Este residuo, "poso de café" o "borra de café", consiste en los restos sólidos de los granos de café que han sido utilizados para preparar la bebida. Después de la extracción del sabor y los compuestos solubles durante el proceso de preparación del café, los granos de café usados se convierten en un material húmedo y oscuro que se deposita en el filtro, la cafetera o el dispositivo utilizado para hacer café.
- **Cuerpo fructífero (basidiocarpo):** En micología, el cuerpo fructífero es la parte visible del hongo que produce y libera esporas, y que a menudo es la parte comestible del hongo. En el caso de *Pleurotus ostreatus*, el cuerpo fructífero se refiere a la seta o hongo ostra que se desarrolla sobre el sustrato de residuos de café.
- **Eficiencia biológica:** Es una medida de la capacidad de un organismo o sistema biológico para convertir los recursos disponibles en biomasa o en un producto de interés. En el contexto de la producción de hongos, por ejemplo, la eficiencia biológica se refiere a la proporción de biomasa de hongos producida en relación con el peso del sustrato utilizado. Una alta eficiencia biológica indica un uso eficiente de los recursos y mayor productividad.
- **Fructificación:** Se refiere a la etapa del ciclo de vida de un hongo en la que se forman los cuerpos fructíferos o estructuras reproductivas visibles, como los sombreros de los hongos. La fructificación es el proceso mediante el cual el hongo madura y produce esporas, que son liberadas para la reproducción y dispersión.

- **Impacto ambiental:** Se refiere a cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea positivo o negativo, causado directa o indirectamente por actividades humanas. Los impactos ambientales pueden afectar la calidad del aire, agua, suelo, la biodiversidad y la salud humana, y son una consideración clave en la planificación y ejecución de proyectos industriales, agrícolas o urbanos.
- **Incubación:** Es la fase en el cultivo de hongos en la que el micelio inoculado se deja crecer y colonizar completamente el sustrato. Durante la incubación, que ocurre en condiciones controladas de temperatura y humedad, el micelio se extiende por el sustrato, absorbiendo nutrientes y preparándose para la etapa de fructificación. Esta fase es crucial para asegurar un crecimiento sano y vigoroso de los hongos.
- **Inducción:** En el contexto de la producción de hongos, la inducción se refiere al proceso o las condiciones que estimulan el inicio de la fructificación del hongo. Esto puede incluir cambios en factores ambientales como la temperatura, la luz, la humedad o el suministro de oxígeno, que desencadenan la formación de cuerpos fructíferos a partir del micelio previamente desarrollado.
- **Inoculación:** En el contexto de la producción de hongos, la inoculación es el proceso de introducir esporas o micelio de un hongo en un sustrato preparado, con el fin de iniciar el crecimiento y desarrollo del hongo. Este procedimiento es esencial para la propagación de hongos cultivables, asegurando la colonización del sustrato por parte del hongo deseado.
- **Lignocelulósico:** Se refiere a materiales orgánicos que están compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes estructurales de las plantas. Los residuos lignocelulósicos, como la paja, el aserrín, la cáscara de café, y otros subproductos agrícolas, son comúnmente utilizados como sustratos en la producción de hongos, ya que pueden ser degradados y utilizados como fuente de nutrientes por el micelio de los hongos.
- **Micelio:** Es la estructura vegetativa de los hongos, compuesta por una red de filamentos finos y ramificados llamados hifas. El micelio crece y se extiende dentro del sustrato, absorbiendo nutrientes para el desarrollo del

hongo. Es la parte fundamental del hongo que, aunque generalmente es subterránea o está escondida en el sustrato, soporta el crecimiento de los cuerpos fructíferos, como las setas.

- **Pleurotina:** Es un compuesto químico secundario producido por el hongo *Pleurotus ostreatus*, conocido por sus propiedades antibacterianas y antifúngicas. La pleurotina tiene un papel importante en la defensa natural del hongo y puede ser de interés en aplicaciones farmacológicas y en la protección de cultivos.
- ***Pleurotus ostreatus*:** *Pleurotus ostreatus* es una especie de hongo comestible conocida comúnmente como hongo ostra debido a su forma y sabor. Es una especie ampliamente cultivada y consumida en todo el mundo debido a su alto valor nutricional, su capacidad para crecer en una variedad de sustratos y su agradable sabor. Además de su uso como alimento, *Pleurotus ostreatus* también tiene aplicaciones en la medicina tradicional y en la biorremediación de suelos contaminados.
- **Precocidad:** En el contexto de la producción de hongos, la precocidad se refiere a la capacidad de un organismo para alcanzar su etapa de madurez reproductiva en un corto período de tiempo. En el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, un hongo con alta precocidad es aquel que inicia la producción de cuerpos fructíferos rápidamente después de la inoculación y las condiciones de crecimiento adecuadas, lo cual es beneficioso para la eficiencia y rentabilidad del cultivo.
- **Producción:** En el contexto de la investigación, la producción se refiere al proceso completo que involucra el cultivo y desarrollo de *Pleurotus ostreatus* en los sustratos de residuos de café. Este proceso implica la preparación del sustrato, la inoculación con el hongo, el mantenimiento de condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento micelial, la fructificación de los cuerpos fructíferos y la cosecha de los hongos.
- **Pulpa:** La pulpa del café es la parte carnosa y mucilaginosa del fruto del café, que rodea las semillas o granos. Es una de las principales fracciones de los residuos de café y contiene nutrientes y compuestos orgánicos que pueden ser utilizados como sustrato para el cultivo de hongos como *Pleurotus ostreatus*.

- **Rendimiento:** En el contexto de la producción de cultivos como *Pleurotus ostreatus*, el rendimiento se refiere a la cantidad de producto obtenido por unidad de superficie o de materia prima utilizada. Puede medirse en términos de peso, volumen u otra unidad relevante, y es un indicador importante de la eficacia del proceso de cultivo.
- **Residuos de café:** Los residuos de café son el subproducto orgánico resultante del procesamiento del café, que incluye la pulpa, la cascarilla y el concho. Estos residuos de café son una fuente rica en nutrientes y compuestos orgánicos que pueden ser reciclados y reutilizados en diferentes aplicaciones, como la producción de compost, la generación de energía renovable y la alimentación animal. La utilización eficiente de estos residuos no solo contribuye a gestionar adecuadamente los subproductos del procesamiento del café, sino que también promueve prácticas agrícolas sostenibles y la valorización de recursos locales.
- **Sostenibilidad:** Es el principio y la práctica de utilizar los recursos de manera que se satisfagan las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. En un contexto agrícola y ambiental, la sostenibilidad implica el manejo responsable de los recursos naturales, la preservación de la biodiversidad, y la minimización de impactos negativos en el medio ambiente, todo ello promoviendo una economía viable y un bienestar social.
- **Sustrato:** Es el material en el que crecen y se desarrollan los hongos. El sustrato proporciona los nutrientes y el ambiente necesarios para el crecimiento del micelio y la fructificación del hongo. En el cultivo de hongos como *Pleurotus ostreatus*, los sustratos comúnmente utilizados incluyen residuos agrícolas como la paja, aserrín, pulpa de café, y otros materiales orgánicos que pueden ser descompuestos por el hongo.
- **Unidad experimental:** En el contexto de un experimento científico, la unidad experimental se refiere a la entidad o elemento sobre la cual se realiza la observación o manipulación. En este caso, cada bolsa de 1 kg de sustrato donde se realizan los cultivos de *Pleurotus ostreatus*.

- **Valorización:** En el contexto de la producción agrícola y de hongos, la valorización se refiere al proceso de aprovechar y añadir valor a residuos o subproductos agroindustriales, transformándolos en recursos útiles y productivos. Esto puede incluir la conversión de desechos en sustratos para cultivo, abonos orgánicos o insumos para otros procesos industriales, contribuyendo así a la sostenibilidad y reducción de impactos ambientales. Esta práctica no solo proporciona una solución para la gestión de los residuos de café, sino que también contribuye a la generación de ingresos adicionales para los productores agrícolas, la mejora de la calidad del suelo y la reducción del impacto ambiental asociado con la eliminación de los residuos orgánicos.

CAPÍTULO III

3. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Las hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* a partir de residuos de café constituye una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Los residuos de pulpa (cáscara), pergamino (cascarilla) y borra (concho) de café pueden ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en la comunidad de Shucush, Amazonas.
- Se estima un rendimiento óptimo en la mayoría de las formulaciones de sustrato a partir de residuos de café en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en la comunidad de Shucush, Amazonas.
- Las formulaciones de sustrato de composición variada serían más eficientes para implementar el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.

3.2. Las variables

3.2.1. Variable independiente

Se identifica como variable independiente a la composición del sustrato residuos de café, estos son los restos o desechos identificados en el proceso de producción, beneficio o consumo del café. Estos residuos conformarán el medio de crecimiento o sustrato del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. El indicador de esta variable es la composición porcentual de cada residuo en el sustrato.

3.2.2. Variable dependiente

Se identifica como variable dependiente a la producción de *Pleurotus ostreatus*, la cual se define como la obtención de cuerpos fructíferos del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, después de un periodo de inoculación, incubación, inducción, fructificación y cosecha. Esta variable cuenta con los siguientes indicadores: precocidad (días), producción / peso fresco del cuerpo fructífero (g), rendimiento (%).

3.3. Operacionalización de variables

Se presenta la operacionalización de variables en la Tabla 17.

Tabla 17
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Método y técnica
Independiente Composición de sustrato en base a residuos de café	Composición del sustrato en base a residuos identificados en el proceso de producción o consumo del café, que conformarán el medio de crecimiento (sustrato) del hongo comestible. Fuente: Adaptado de García (1985) y Mendoza (2020).	La composición del sustrato se medirá como las proporciones de tres tipos de residuos de café (R1, R2, R3) en 16 formulaciones diferentes, cada una pesando 1 kg.	Formulaciones (Ver Tabla 18)	• Proporción de R1 (%) • Proporción de R2 (%) • Proporción de R3 (%)	• Diseño completamente al azar de la malla de distribución de las 16 formulaciones diferentes de sustrato, con 3 repeticiones de cada una, resultando en 48 unidades experimentales. • Método de preparación del sustrato según protocolo establecido. • Pesaje preciso de cada componente para cada formulación.
Dependiente Producción de <i>Pleurotus ostreatus</i>	Es la obtención de cuerpos fructíferos del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> , después de un periodo de inoculación, incubación, inducción, fructificación y cosecha. La producción está relacionada con la disponibilidad de nutrientes en el sustrato. Fuente: Adaptado de García (1985) y Mendoza (2020).	La producción se medirá a través de la precocidad (tiempo hasta la primera cosecha), el peso fresco de los cuerpos fructíferos cosechados, y el rendimiento calculado como porcentaje del peso del sustrato inicial.	Producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> según formulación de sustrato	• Producción o peso fresco del cuerpo fructífero (g) • Rendimiento (%) • Precocidad (días)	• Recolección de cuerpos fructíferos y pesaje con balanza de precisión. • Registro diario para determinar la precocidad. • Tabulación de datos obtenidos de producción. • Procesamiento estadístico mediante software InfoStat (versión 2020e) a través del ANOVA y Prueba de Tukey.

A continuación, se define el indicador de la variable independiente:

- Composición porcentual de cada residuo en el sustrato (%)

En la Tabla 2 se muestra las diferentes formulaciones de sustrato propuestos para el presente trabajo de investigación. Estas formulaciones se diferencian por la composición en porcentaje peso (% p/p) y en base húmeda de tres residuos derivados del café (R1, R2 y R3). El 100% representa un kilogramo de sustrato.

Tabla 18
Formulación de sustratos en %p/p base húmeda

Grupo	Formulación (F)	R1	R2	R3
I	F01	100	-	-
	F02	-	100	-
	F03	-	-	100
II	F04	75	25	-
	F05	75	-	25
	F06	25	75	-
	F07	-	75	25
	F08	25	-	75
	F09	-	25	75
III	F10	50	25	25
	F11	25	50	25
	F12	25	25	50
IV	F13	50	50	-
	F14	50	-	50
	F15	-	50	50
V	F16	33.33	33.33	33.33

Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se definen los indicadores de la variable dependiente:

- Precocidad (Pd)

De acuerdo a Maldonado (2007) quien cita a Larrata y col. (2003) e Idareta y col. (2004), la precocidad se define como “el número de días transcurridos desde el inicio de la incubación en condiciones de fructificación hasta la primera cosecha de cuerpos fructíferos maduros” (p. 45).

- Peso fresco del cuerpo fructífero (PF)

Según García-Oduardo et al., (2011) se define como la masa total (g) de los cuerpos fructíferos cosechados por bolsa.

- Rendimiento (Re)

Según Zadrazil y Kurtzman (1982); citados por Maldonado (2007), se tiene la siguiente ecuación:

$$Re(\%) = \frac{\text{Peso total de hongos frescos cosechados (g)}}{\text{Peso del sustrato húmedo (g)}} \times 100$$

3.4. Matriz de consistencia

La matriz de consistencia de presenta en la Tabla 19.

Tabla 19
Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	V. Independiente
¿De qué manera la producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> a partir de residuos de café constituye una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas?	Evaluar la producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> en residuos de café como alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.	La producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> a partir de residuos de café constituye una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.	Composición de sustrato en base a residuos de café • Diseño completamente al azar de la malla de distribución 48 unidades experimentales. • Método de preparación del sustrato según protocolo establecido. • Pesaje preciso de cada componente de la formulación
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	V. Dependiente
• ¿Qué residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café pueden ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> en la comunidad de Shucush, Amazonas? • ¿Cuál es el rendimiento alcanzado según la formulación del sustrato a partir de residuos de café en la producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> en la comunidad de Shucush, Amazonas? • ¿Cuáles son las formulaciones de sustrato más eficientes para implementar el cultivo del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas?	• Identificar los residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café para ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> en la comunidad de Shucush, Amazonas. • Determinar el rendimiento alcanzado según la formulación del sustrato a partir de residuos de café en la producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> en la comunidad de Shucush, Amazonas. • Identificar las formulaciones de sustrato más eficientes para implementar el cultivo del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.	• Los residuos de pulpa (cáscara), pergamino (cascarilla) y borra (concho) de café pueden ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> en la comunidad de Shucush, Amazonas. • Se estima un rendimiento óptimo en la mayoría de las formulaciones de sustrato a partir de residuos de café en la producción del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> en la comunidad de Shucush, Amazonas. • Las formulaciones de sustrato de composición variada serían más eficientes para implementar el cultivo del hongo comestible <i>Pleurotus ostreatus</i> como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.	Producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> Métodos: • Recolección de cuerpos fructíferos y pesaje con balanza de precisión. • Registro diario para determinar la precocidad. • Tabulación de datos obtenidos de producción. • Procesamiento estadístico mediante software InfoStat (versión 2020e) a través del ANOVA y Prueba de Tukey.

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO IV

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de Estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en campo, en el caserío de Shucush, distrito de Longar, provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas. Así pues, se presenta su ubicación en la Tabla 20 y Figura 6.

Tabla 20

Ubicación área de estudio

Región	Provincia	Distrito	Caserío	Coordenadas UTM WGS84 Zona (18S)		Área (m ²)
				Este (m)	Norte (m)	
Amazonas	Rodríguez de Mendoza	Longar	Shucush	215771	9292559	12

Fuente. Elaboración propia



Nota: Elaborado a partir de imágenes de Google Earth y de archivos con licencia Wikimedia Commons.

Figura 6

Plano de ubicación del área de estudio

El área donde se realizó la presente investigación se encuentra bajo las condiciones de campo, rodeado de cultivos de café y en la cercanía a la vivienda del productor de café orgánico Carlos Salazar Vargas. De acuerdo con SENAMHI (2008), y su Guía Climática Turística, la provincia de Rodríguez de Mendoza se encuentra a 1650 m.s.n.m. en promedio y describe el clima de Rodríguez de Mendoza como lluvioso, semicálido y húmedo, con inviernos secos; además, aporta que las temperaturas máximas promedios mensuales varían alrededor de los 20°C y 25°C mientras que los mínimos rondan los 15°C.

4.2. Tipo y Diseño de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental, cuantitativa y se realizó en campo, con un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA). Debido a ello, se establecieron 16 formulaciones con 3 repeticiones cada una; esto resulta en un total de 48 unidades experimentales, lo que quiere decir que cada bolsa de 1 kg en peso húmedo de sustrato inoculado con *Pleurotus ostreatus* formará una unidad experimental; en la Figura 7 se muestra su distribución.

Fila ↴							
A	43	44	45	46	47	48	← Unidad experimental ← Formulación
	F15	F13	F12	F10	F06	F05	
B	37	38	39	40	41	42	
	F15	F02	F14	F13	F16	F04	
C	31	32	33	34	35	36	
	F08	F14	F03	F01	F07	F08	
D	25	26	27	28	29	30	
	F13	F06	F11	F03	F08	F10	
E	19	20	21	22	23	24	
	F04	F11	F15	F06	F16	F07	
F	13	14	15	16	17	18	
	F09	F07	F11	F16	F14	F02	
G	7	8	9	10	11	12	
	F02	F12	F09	F05	F03	F01	
H	1	2	3	4	5	6	
	F09	F04	F01	F12	F05	F10	

Fuente:
Elaboración propia

Figura 7

Distribución aleatoria de las 48 Unidades Experimentales y sus formulaciones

Para ello se realizó la distribución aleatoria de las formulaciones en un arreglo de malla de 8 filas por 6 columnas, donde se ubicarán las 48 unidades experimentales. A continuación, en el gráfico izquierdo se observa la distribución de las formulaciones y el gráfico izquierdo le asigna un valor numérico como ítem a cada unidad experimental, de manera ordenada.

4.2.1. Método de producción de *Pleurotus ostreatus*

Se adaptaron las directrices de la «Guía práctica de producción de Setas (*Pleurotus* spp.)» de Fernández (2004) y demás información relevante de los antecedentes similares a la situación particular del de la presente investigación. Así mismo, se tienen las siguientes etapas generales:

1. Preparación y desinfección del sustrato
2. Inoculación de *Pleurotus ostreatus* al sustrato
3. Incubación
4. Inducción
5. Fructificación
6. Cosecha

4.2.2. Materiales

Armazón de madera con base para estructura del experimento

- 02 kg de inóculo secundario de *Pleurotus ostreatus*
- Residuos derivados del café: 16 kg de cada residuo (R1, R2, R3)
- 01 kg cal viva
- 01 ciento de bolsas de polipropileno transparente (30x10cm altura y diámetro)
- 02 atomizador de líquidos simple (de 1 L)
- 6 kg Detergente para limpieza
- 03 rollos de rafia
- 01 paquete de velas
- 01 cuchara de metal
- 01 bisturí
- 01 cinta adhesiva
- 03 L alcohol 70% con atomizador

- 01 plumón indeleble
- 10 par guantes de plástico
- 1 par gafas de seguridad
- 10 par mascarilla quirúrgica
- 3 unid. balde de 25 L
- 3 L agua destilada
- 2 kg de inóculo secundario de *Pleurotus ostreatus*

Sobre el material biológico se adquirió el inóculo secundario, semillas desagregadas de trigo colonizadas por el micelio de *Pleurotus ostreatus* (Muñoz, 2017) desde la ciudad de Lima, a través de la empresa Fungi Innova, en presentaciones de 200 g. Asimismo, al ser una investigación basada en la agroecología, no se utilizó antibióticos en caso de aparecer parásitos.

4.2.3. Equipos

- 01 termómetro e higrómetro digital de suelo, marca “SMART easy to use”

Características:

1. Mide la intensidad de luz del entorno actual (para fotosíntesis óptima)
 2. Mide el contenido de humedad del suelo
 3. Mide la temperatura del suelo. Rango: -9 a 50 °C: precisión 1°C
 4. Mide el PH del suelo. Rango de PH: 3,5-9,0
- 01 medidor de humedad digital
 - 01 balanza gramera marca “Houseware”, de capacidad 5 kg y precisión: 1g

4.3. Población y muestra

4.3.1. Unidad de análisis

La unidad de análisis de la presente investigación está conformada por cada bolsa de 1 kg en peso húmedo de sustrato inoculado con *Pleurotus ostreatus*. Cada unidad de análisis cuenta con una composición de sustrato definida por los residuos de café que la integran.

4.3.2. Universo de estudio

Se establece como universo de estudio al conjunto de bolsas de sustrato inoculado con *Pleurotus ostreatus*; se compone en total por 48 unidades experimentales, ya que las 16 formulaciones establecidas cuentan con 3 repeticiones cada una.

4.3.3. Tamaño de muestra

Debido al número de unidades de análisis, se estableció para el presente trabajo de investigación que cada bolsa de sustrato esté compuesta por un kilogramo de residuos en peso húmedo. De esta manera, por el volumen de las bolsas y su peso, el proceso experimental será manejable y práctico.

4.3.4. Selección de la muestra

Debido al número de unidades de análisis (48 unid.) se determinó para el presente trabajo de investigación que cada bolsa de sustrato esté compuesta por un kilogramo de residuos en peso húmedo. Los residuos serán homogenizados luego de su desinfección alcalina y se tomará el porcentaje necesario de cada uno de estos para conformar la bolsa de sustrato de 1 kg.

4.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de información

4.4.1. Selección de residuos a utilizar

Para realizar la selección de los tres residuos (R1, R2, R3) a utilizar en la presente investigación se tomó en cuenta su disponibilidad en términos de abundancia y las características que estos pueden brindar para el desarrollo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Para ello se tomaron en cuenta todos los residuos producidos en las diferentes etapas del ciclo económico-productivo del café, desde la cosecha hasta la fase final de consumo. Según las etapas que se manejan en la producción del café orgánico en el caserío de Shucush.

4.4.2. Construcción del ambiente de experimentación

Se delimitó un área de aproximadamente 12 m² en la cual se instaló una cabaña de madera, Figura 8, con paredes abiertas rodeadas por una malla de alambre para evitar el ingreso de animales mayores (domésticos y silvestres), y que cuenta además con un techo de calamina para la protección ante lluvias.

Asimismo, para simular las condiciones que permitan la colonización del micelio en el sustrato, se procedió a rodear la cabaña con plástico negro, para que aumente la temperatura en el ambiente de incubación y además se impida la entrada de luz solar directa y así generar un ambiente oscuro y aumentar la concentración de dióxido de carbono.



Figura 8

*Cabaña construida para la siembra y el cultivo del *Pleurotus ostreatus**

Además, fue necesario la implementación de una estructura de madera que sirva como sostén de las unidades experimentales (UE), como se aprecia en la Figura 8. Para ello se diseñó un armazón cuadrangular de 2.00 m de ancho, 2.40 m de largo y 1.5 m de altura, a la altura de la vista aproximadamente para que nos facilite la observación del crecimiento de los hongos. El armazón rectangular estaba dividido en dos partes en su ancho para que puedan cargar 8 listones de madera de 1.0 m a cada lado de manera equidistante que a su vez soporten el peso de las bolsas de cultivo. Los listones de madera de 1.0m aproximadamente contenían tres divisiones donde se insertaron ganchos para colgar las bolsas. Así pues, se estableció una malla de distribución para las

UE a través de las 8 filas de madera y sus 3 divisiones a cada lado, lo que hacía una matriz de 8 x 6, con un espaciamiento de 25 cm x 30 cm entre cada UE aproximadamente. Además, con el fin de evitar la caída de las bolsas hacia el suelo, se implementó un falso piso de triplay a la altura de 1.0 m de la estructura. Para generar las condiciones de la inoculación o fase oscura, también se procedió a forrar los laterales del armazón con costalillo negro y a tapar la parte superior con dos láminas de triplay que puedan ser removidas fácilmente de cada lado.



Figura 9

Estructura de sostén de madera de las 48 unidades experimentales

4.4.3. Obtención del inóculo

Para la obtención de la semilla se realizó la adquisición de 2.0 kg inóculo secundario comercial a través de la empresa Fungi Innova, la presentación de estas como se puede apreciar en la Figura 10 es en bolsas de 200 g, en su contenido se presentan semillas de trigo colonizadas por *Pleurotus ostreatus* variedad Florida, que fueron inoculadas el 25 de julio. Así pues, se estableció una logística para el transporte de tal manera que no pase más de dos días fuera de refrigeración, para no afectar el micelio. De ese modo, al recibir el producto de manera oportuna se procedió a ponerlo en el refrigerador.

Figura 10

*Inóculo secundario de *P. ostreatus**



4.4.4. Preparación y desinfección del sustrato

Teniendo en cuenta las unidades experimentales a utilizar, se propuso recolectar un total de 16 kg por cada tipo de residuo. De acuerdo con recomendaciones de autores como Gaitán et al. (2006) y Sánchez y Royse (2002), se realizó la fermentación de la pulpa de café en una zaranda, apilada en un montículo y cubierta por un plástico para mantener tanto la temperatura como la humedad. Este proceso de fermentación aeróbica se favoreció moviendo la pila de manera interdiaria la pila de pulpa de café, a partir del segundo día hasta completar seis días, ver Figura 11 (izquierda). Se llegó a una temperatura de 47° C. Esta actividad microbiológica se realiza con el fin de homogenizar el sustrato de manera fisicoquímica, eliminar algunos compuestos tóxicos y microorganismos competidores. Así pues, para eliminar microorganismos que puedan competir por el sustrato con el hongo *Pleurotus ostreatus*, se realizó un proceso de desinfección con cal viva, en este proceso, se preparó agua suficiente con la concentración de 5g de cal viva por cada litro de agua, según recomendaciones de la literatura consultada. En este proceso se dejó hidratar los sustratos por inmersión en esta solución desinfectante por un día entero (24 horas), después se procedió a escurrir el agua, como en la Figura 12.



Figura 11

Fermentación aeróbica de pulpa de café y preparación para desinfección



Figura 12

Desinfección de sustratos con cal viva y escurrido

4.4.5. Siembra e incubación

Antes de proceder con la siembra se sacó la semilla del micelio de la refrigeradora unos dos días antes, para que esto permita la reactivación del hongo, también se procedió a desagregar la masa contenida en la bolsa. Así, pues, el día de la siembra, se procedió a realizar la formulación para cada unidad experimental, se pesó 1 kg de residuos en peso húmedo como masa total de cada unidad experimental y se procedió a mezclar de manera homogénea con 40 g de inóculo secundario (semillas desagregadas de trigo colonizadas por el micelio de *Pleurotus ostreatus*), ver Figura 13.

La siembra e inoculación se realizó en la cabaña construida para nuestra zona de experimentación, con cuatro velas prendidas en los extremos de la mesa, a fin de simular la acción de un mechero Bunsen y crear una esfera estéril alrededor de nuestra área de inoculación. Luego de la mezcla de sustrato con inóculo secundario, se procedió a poner este contenido dentro de bolsas de polipropileno transparente, de 30x10 cm de altura y diámetro, y a distribuirlas de acuerdo con el diseño en la malla de unidades experimentales de la Figura 7. Así también, se realizaron dos cortes diagonales pequeños en cada cara de la bolsa de siembra con una cuchilla desinfectada, con el fin de que se pueda tener un intercambio gaseoso.



Figura 13

*Siembra e inoculación del hongo *P. ostreatus* a los sustratos formulados*

Así pues, después de la siembra (26 de agosto), se brindó las condiciones consultadas en la literatura para la adaptación y propagación del micelio en el nuevo sustrato, iniciando la “fase oscura” del proceso productivo.

4.4.6. Inducción y fructificación

Después de un mes de realizada la siembra, el 23 de septiembre, se realiza la fase de inducción debido a que el micelio ya ha colonizado gran parte de nuestro sustrato formulado para cada UE, ilustrado en la Figura 14. En esta etapa es necesaria la ventilación, la humedad (aspersión con atomizador de líquidos) y luz debido a que empezarán a desarrollarse los cuerpos fructíferos. La ventilación se hace necesaria para bajar la temperatura y además disminuir

la concentración del CO₂ en el ambiente, según Ardón (2007). Empezarán en esta fase a desarrollarse, después de los primeros días de inducción (23 de septiembre), unos cuerpos protuberantes llamados primordios, como se observa en la esquina superior derecha de la Figura 14, los que luego emergerá el cuerpo del hongo con su tallo (estípite), el himenóforo y el sombrero característico (píleo).



Figura 14

*Inducción y fructificación de las UE de cultivo del hongo comestible *P. ostreatus**

4.4.7. Cosecha de cuerpos fructíferos

Una vez alcanzada la maduración del cuerpo fructífero del hongo, aproximadamente una semana después de la aparición de los primordios, según Ardón (2007), se puede observar una coloración gris-azulado del sombrero en forma de ostras, de ahí el nombre; así bien, cuando estos sombreros están bien formados pueden alcanzar diámetros entre 3 a 10 cm, donde se evalúa su cosecha antes de que se sequen y adquieran otra

coloración. El proceso de cosecha es sencillo y se realiza con una cuchilla limpia y esterilizada, cortando la base del hongo pegada al sustrato. Después de ello, se pesa el cuerpo fructífero cosechado y se anota los datos obtenidos en la balanza gramera, teniendo en cuenta la UE y la fecha. Esta primera cosecha es de la primera oleada productiva, ver Figura 15, luego se espera un par de semanas más para la segunda producción y el mismo intervalo para la tercera oleada productiva



Figura 15

Cosecha de cuerpos fructíferos y pesaje de la masa producida por cada UE

4.4.8. Análisis de datos

La recolección de datos se realiza en la etapa de cosecha, recolectando los cuerpos fructíferos y realizando su pesaje en la balanza gramera, con lo cual se obtuvo la producción en gramos. Estos datos serán tabulados por cada unidad experimental, su formulación, peso y fecha de cosecha. Para el

indicador de precocidad (Pd), se registran los días transcurridos desde la inoculación hasta la primera cosecha; asimismo se realiza el pesaje de los cuerpos fructíferos producidos por cada unidad experimental en cada cosecha y su registro teniendo en cuenta la codificación de su unidad experimental y formulación correspondiente.

El análisis de los datos obtenidos para cada uno de los indicadores se hizo a través del software de hojas de cálculo Excel debido a que permite realizar gráficas más dinámicas que orienten los resultados a un análisis visual y comparativo entre las diferentes formulaciones y unidades experimentales. Asimismo, se realizará un análisis ANOVA y la prueba de Tukey para los datos con el software estadístico InfoStat (versión 2020e).

Para el procesamiento de datos, se eliminará de los cálculos los valores nulos obtenidos para algunas unidades experimentales y se utilizarán promedios, a fin de que los factores externos al experimento no afecten de gran manera los datos procesados. Se presentarán los datos según las oleadas productivas y un acumulado total de las oleadas; asimismo, los análisis se realizaron de acuerdo a la mayor o menor rendimiento, así como un análisis por grupos de formulaciones.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS

5.1. Del Objetivo 1: Identificación de residuos sólidos orgánicos

- Se identificaron los residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café para ser empleados como sustrato en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*.

En primer lugar, para poder identificar los residuos a utilizar, se realizó una entrevista al productor de café orgánico Ubaldo Muñoz Montano acerca de las actividades recurrentes que realiza un productor de café en la localidad de Shucush; así pues, según se muestra en la Figura 16 se identificaron las siguientes actividades:

01. Cosecha de café cerezo en las fincas
02. Almacenamiento temporal en la finca
03. Transporte al lugar de beneficio
04. Descarte de granos por flotación
05. Despulpado del café cerezo, donde se desprenda la pulpa del grano
06. Transporte de pulpa a la compostera
07. Fermentación del mucílago sin agua
08. Lavado y eliminación de granos por flotación
09. Secado en zarandas y almacenamiento posterior y/o venta a asociación
10. Trilla o pilado
11. Separación de la cascarilla amarilla de pergamino del grano (oro verde)
12. Tostado del grano
13. Molienda del grano tostado
14. Consumo o venta como café molido

Además, de acuerdo a la literatura revisada en el capítulo del marco teórico y la experiencia propia del autor de la presente investigación sobre las etapas del cultivo, procesamiento y consumo del café (*Coffea arabica*) en la comunidad de Shucush, distrito de Longar, Provincia Rodríguez de Mendoza, se identifican tres subproductos como los principales a emplearse en la

elaboración del sustrato para la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, ver Figura 17, esto analizando su disponibilidad en el área y la cantidad de producción de los mismos, con criterios de sostenibilidad.

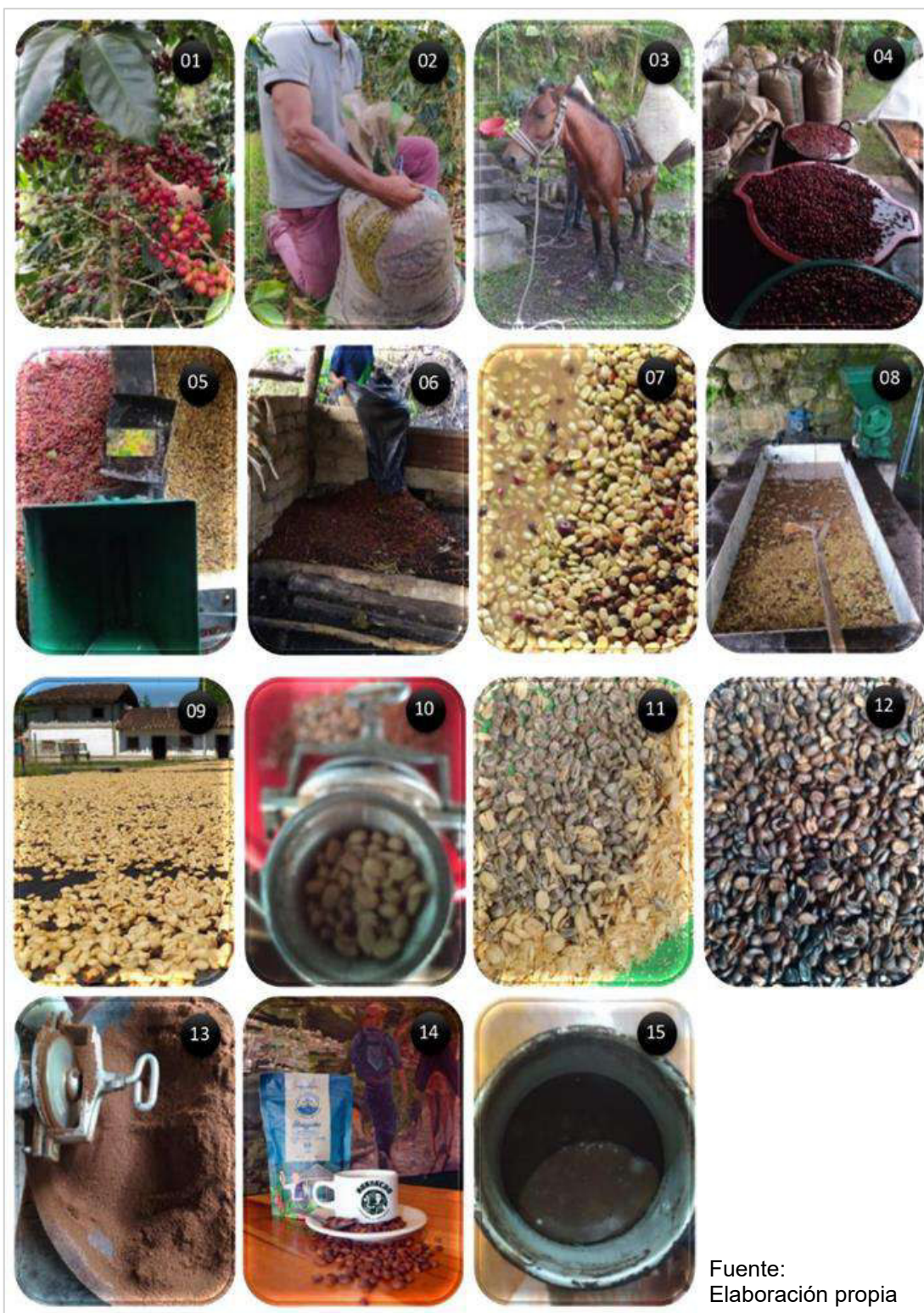


Figura 16
Actividades recurrentes que realiza un productor de café en la localidad de Shucush



Figura 17

Esquema del ciclo productivo del café y sus residuos

- A. El primer residuo identificado es la **pulpa de café**, deriva del proceso de beneficio del café cerezo, el cual proviene directamente de la fase de cosecha. Este beneficio en húmedo es el que se realiza normalmente en la comunidad de Shucush, que el café arábico, para lo cual se utilizan máquinas despulpadoras manuales o adaptadas a motor para remover la pulpa y piel del grano. De acuerdo con la literatura consultada, según Calle, H. (1977), ver Figura 18, alrededor del 40% del café cerezo ingresado se convierte en pulpa de café, por lo cual hay gran cantidad de estos residuos después del beneficio. En Shucush, normalmente el productor lleva este subproducto a las composteras; sin embargo, muchos otros optan por su aplicación directa en sus fincas cercanas para combatir las hierbas debido a la acidez que presenta la pulpa; aunque esto puede ser contraproducente para los plantones de café y la calidad del suelo. Asimismo, cuando no existe un adecuado manejo de la compostera; por ejemplo, cuando no se realizan los volteos o aireación de los residuos de pulpa de café, esta entra en una fase de putrefacción, generando lixiviados y malos olores, que conllevan a la proliferación microorganismos perjudiciales para su empleo posterior como abono.

- B. El segundo residuo identificado por su importancia en cuanto a cantidad producida es la **cascarilla del café**, la cual se produce después del proceso de trillado o pilado del café pergamino que se ha secado hasta alcanzar un 12% de humedad aproximadamente. Esta capa amarilla denominada endocarpio del grano del café se separa por el proceso físico de pilado; este residuo representa aproximadamente un 16% del café pergamino y un 4% del peso del café cerezo fresco, según Calle, H. (1977).

Los productores de café de Shucush están normalmente asociados en cooperativas agrarias cafetaleras, las cuáles acopian el café pergamino y también brindan servicios de pilado y tostado del grano; en estas cooperativas se puede encontrar mayor cantidad los residuos de cascarillas ya que realizan el pilado para vender el café oro o verde a mercados internacionales; también se comercializa cafés tostados y molidos empaquetados para el mercado local.

- C. El tercer residuo identificado es la **borra** o **concho** del café producto de la preparación de la bebida en sí misma, ya sea en su preparación tradicional en una olla o tetera como se consume de manera tradicional en la comunidad de Shucush, o a través de las pasadoras de café.

Este residuo normalmente es descartado en las cañerías, por lo que es una buena alternativa aprovechar sus propiedades nutritivas como sustrato. Así pues, de acuerdo con Calle, H. (1977), este residuo representa el 10% del peso del café cerezo que se obtiene del cultivo directo de la planta. Y debido al consumo de esta bebida, es un residuo disponible en nuestros hogares, aunque se produce en pequeñas cantidades diarias según el consumo familiar. De igual manera, el reciente boom de las cafeterías hace que este tipo de residuo se produzca en volúmenes medianos en estos establecimientos; por ello, a través de contacto con la cafetería “Huayacho” de la Cooperativa Agraria Cafetalera Alta Montaña, se puede suministrar este residuo para el presente experimento.



Figura 18

Subproductos obtenidos en el proceso de beneficio de 1kg de café cerezo

De acuerdo con la Figura 18, en la producción de café, es evidente que el 94% del peso del café cerezo se convierte en subproductos o residuos. Aplicar los principios de economía circular en esta cadena implica darles un uso sostenible a estos subproductos. Las tecnologías limpias permiten transformar estos desechos en nuevas materias primas, lo que disminuye el impacto ambiental. Un ejemplo es el uso de biodigestores para generar biogás a partir del mucílago y la pulpa, reduciendo el uso de combustibles fósiles. Además, se puede producir biochar con la pulpa, que mejora los suelos, captura carbono, y también puede emplearse en la producción de hongos comestibles.

De esta manera, teniendo en consideración las características de estos tres residuos —ya sea por su producción a nivel local, la cantidad de su producción, su disponibilidad y las características orgánicas que cuentan— se seleccionan para la presente investigación para ser materia prima para elaborar la formulación del sustrato donde se cultive el hongo comestible *Pleurotus ostreatus*.

Tabla 21

*Residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café identificados para ser empleados como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus**

	Residuo 1 (R1)	Residuo 2 (R2)	Residuo 3 (R3)
	Pulpa de Café	Cascarilla	Concho o borra
Descripción	Compuesta por la piel externa (exocarpo) y la pulpa (mesocarpo) de la fruta del café. Se obtiene tras el proceso de beneficio húmedo a través del despulpado	Compuesta por el endocarpo del fruto, también llamado pergamino o cascarilla, tiene propiedades higroscópicas. Se obtiene tras el proceso de pilado o trillado.	Compuesta por el producto residual después de la preparación de la bebida del café de forma granulada.
Compuestos principales	Carbohidratos Proteínas Minerales Taninos Polifenoles Cafeína	Carbohidratos Proteínas Ceniza Lípidos	Azúcares Proteínas
Disponibilidad - cercanía	- Cerca al área de despulpado, finca o casa del productor	- Productor/ pilado manual artesanal - Cooperativas/ piladora a motor	- Productor - Cafeterías cercanas - Cooperativas / área de catación
Tiempo de Acumulación	- Diaria en campañas de cosecha (junio - agosto), se despulpa diario	- Cada que se va a tostar café para consumo propio del productor - Diaria en cooperativas, en campaña productiva	- Diario, pero en poca cantidad, para consumidor individual - Diario en mediana cantidad para cafeterías o cooperativas
Residuos obtenidos por cada 1000 g de café cerezo*	394 g (39%)	35 g (4%)	104 g (10%)

(*) Información de acuerdo con Calle, H. (1977). Subproductos del café. Colombia. <http://hdl.handle.net/10778/806>. Cuadro: Elaboración Propia.

Por tanto, tras definir los residuos a utilizarse, en la Tabla 22 se presente a detalle las formulaciones y su composición por cada tipo de residuo.

Tabla 22

Definición de formulaciones según tipo de residuos y su composición porcentual

Grupo	Fórmula	R1 % Pulpa	R2 % Cascarillas	R3% Concho	Descripción general
Grupo I	F01	100	0	0	Formulaciones compuestas por un solo tipo de residuo de presencia absoluta
	F02	0	100	0	
	F03	0	0	100	
Grupo II	F04	75	25	0	Formulaciones compuestas por dos residuos, con la presencia mayoritaria del 75% de un tipo de residuo
	F05	75	0	25	
	F06	25	75	0	
	F07	0	75	25	
	F08	25	0	75	
	F09	0	25	75	
Grupo III	F10	50	25	25	Formulaciones compuestas con tres residuos, con la presencia mayoritaria del 50% de un tipo de residuo
	F11	25	50	25	
	F12	25	25	50	
Grupo IV	F13	50	50	0	Formulaciones compuestas por dos residuos de presencia equitativa 50% - 50%
	F14	50	0	50	
	F15	0	50	50	
Grupo V	F16	33.33	33.3	33.3	Formulación equitativa para los tres residuos





Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 22, se observa que los grupos I, II y III cuentan con formulaciones en las cuales un tipo de residuo se destaca del resto. Así pues, las formulaciones con mayor presencia de pulpa de café son F01, F04, F05 y F10. Además, las formulaciones con mayor presencia de cascarilla de café son F02, F06, F07 y F11. Por otra parte, las formulaciones con mayor presencia de concho de café son F03, F08, F09 y F12.

Así también el Grupo IV presenta simetría en cuanto a su composición por dos tipos de residuos y el Grupo V cuenta con formulación equitativa de sus tres componentes.

5.2. Del Objetivo 2: Determinación del rendimiento

- Se determina el rendimiento alcanzado según la formulación del sustrato a partir de residuos de café en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*.

Según Zadrazil y Kurtzman (1982); citados por Maldonado (2007), se tiene la siguiente ecuación para calcular el rendimiento, expresado en porcentaje:

$$Re(\%) = \frac{\text{Peso total de hongos frescos cosechados (g)}}{\text{Peso del sustrato húmedo (g)}} \times 100$$

Siendo que para el diseño experimental se utilizó 1000 g de sustrato húmedo para todas las unidades experimentales, el cálculo del rendimiento (%) se realiza dividiendo el valor de la masa entre 10. Así pues, de manera más práctica, también se presentarán resultados expresados en masa (g) producidas del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*.

En este acápite, se realizó un desglose de los resultados; es decir, primero se presentan los resultados de manera general y luego se especifican de manera particular según oleadas productivas o grupos de formulaciones. Asimismo, con el fin de poder realizar un análisis uniforme, se eliminaron los valores nulos para cálculos de promedio a fin de que las externalidades de un experimento en campo como este no afecten o distorsionen los valores calculados en los presentes resultados.

Como se puede observar en el margen izquierdo de la Figura 19, el diagrama sectorial muestra la producción total de *Pleurotus ostreatus* fue de 3667 g (100%) en todo lo que duró el experimento; asimismo se visualiza que la primera ola productiva tuvo una masa acumulada de 2523 g (69%), la segunda ola de 872 g (24%) y la tercera ola de 272 g (7%). Así pues, se ve de manera gráfica que la producción empieza a decaer conforme avanza el tiempo; la primera ola productiva tiene casi el triple de masa que la segunda ola y esta a su vez más del triple que la última oleada productiva.

Del mismo modo, se puede apreciar en la Figura 19, que las formulaciones F03, F12, F15 y F09 se encuentran por encima del cuartil superior de los datos, por cuanto tienen mayor producción acumulada en las tres oleadas productivas, expresada en masa (g) de *Pleurotus ostreatus* cosechado.

Así pues, la F03 cuenta con 592 g dejando muy por encima a la F12 (389 g), la F15 (378 g) y F09 (376 g). Cabe precisar que estas cuatro formulaciones contienen valores por encima del 50% en masa de concho de café en su composición.

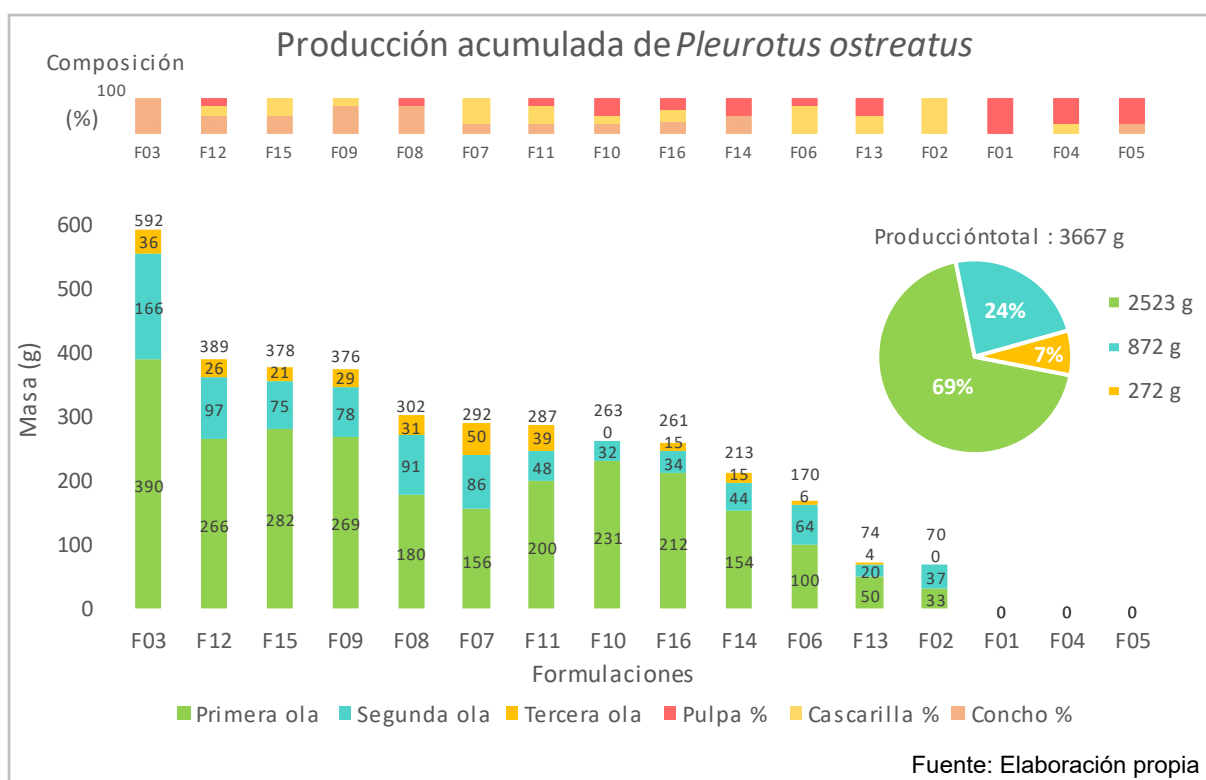


Figura 19

*Producción acumulada de *Pleurotus ostreatus* —masa(g)— de las tres olas productivas en base a las 16 formulaciones ordenadas de manera descendente*

Asimismo, como se aprecia en la Tabla 23, los resultados de producción muestran que las UE de mayor rendimiento productivo fueron la UE 11 (F03), UE09 (F09), UE28 (F03), UE33 (F03) y UE36 (F08); teniendo como común denominador que sus formulaciones presentan el concho de café en más del 75% de su composición.

Tabla 23

*Resultados de producción y rendimiento (en orden decreciente) de cada unidad experimental de cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus**

UE	Fórmula	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M Total (g)	Rendimiento (%)
11	F03	0	0	100	132	72	0	204	20.40
9	F09	0	25	75	143	39	17	199	19.90
28	F03	0	0	100	151	44	0	195	19.50
33	F03	0	0	100	107	50	36	193	19.30
36	F08	25	0	75	96	60	31	187	18.70
45	F12	25	25	50	129	27	13	169	16.90
37	F15	0	50	50	125	21	19	165	16.50
15	F11	25	50	25	112	27	16	155	15.50
13	F09	0	25	75	98	22	12	132	13.20
27	F11	25	50	25	88	21	23	132	13.20
17	F14	50	0	50	89	24	15	128	12.80
23	F16	33.33	33.33	33.33	87	22	12	121	12.10
30	F10	50	25	25	120	0	0	120	12.00
8	F12	25	25	50	75	42	0	117	11.70
29	F08	25	0	75	84	31	0	115	11.50
43	F15	0	50	50	91	18	2	111	11.10
14	F07	0	75	25	74	18	16	108	10.80
4	F12	25	25	50	62	28	13	103	10.30
35	F07	0	75	25	54	32	17	103	10.30
21	F15	0	50	50	66	36	0	102	10.20
41	F16	33.33	33.33	33.33	74	12	3	89	8.90
6	F10	50	25	25	67	19	0	86	8.60
39	F14	50	0	50	65	20	0	85	8.50
24	F07	0	75	25	28	36	17	81	8.10
47	F06	25	75	0	49	15	0	64	6.40
46	F10	50	25	25	44	13	0	57	5.70
22	F06	25	75	0	29	26	0	55	5.50
16	F16	33.33	33.33	33.33	51	0	0	51	5.10
25	F13	50	50	0	29	18	4	51	5.10
26	F06	25	75	0	22	23	6	51	5.10
38	F02	0	100	0	23	24	0	47	4.70
1	F09	0	25	75	28	17	0	45	4.50
7	F02	0	100	0	10	13	0	23	2.30
44	F13	50	50	0	21	2	0	23	2.30
Total					2523	872	272	3667	10.79*

Fuente: Elaboración propia

UE representa la unidad experimental de cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*

Rn representa el porcentaje de cada residuo en peso húmedo presente en la formulación, donde n=1 pulpa; n=2, cascarilla; n=3, concho.

Mx representa la masa producida del hongo comestible en gramos, donde x=1 es la primera ola productiva; x=2, segunda ola; x=3, tercera ola.

M Total (masa acumulada de las tres olas productivas)

(*) Rendimiento promedio total

5.2.1. Análisis estadístico

Se presenta a continuación la **Tabla 24**, que indica los datos que se procesarán en el software estadístico InfoStat (versión 2020e), donde se muestran el rendimiento (%) para las formulaciones y sus respectivas repeticiones (REP1, REP2, REP3). Indicar que se realizó la corrección de los valores usando promedios para los valores faltantes, así como la transformación $ASEN_Ren/100$ que indica que se está analizando el rendimiento biológico dividido por 100 y transformado mediante una función arcoseno (ASEN); esta transformación es común en datos de porcentaje para mejorar la normalidad y homogeneidad de varianzas.

Tabla 24

Datos del rendimiento (%) a ser analizados por el software InfoStat

FORMULACIÓN	REPETICIÓN	Rendimiento	Ren/100	ASEN_Ren/100
F1	REP1	0	0	0
F2	REP1	4.7	0.047	0.2185
F3	REP1	20.4	0.204	0.4686
F4	REP1	0	0	0
F5	REP1	0	0	0
F6	REP1	6.4	0.064	0.2558
F7	REP1	10.8	0.108	0.3349
F8	REP1	18.7	0.187	0.4472
F9	REP1	19.9	0.199	0.4624
F10	REP1	12	0.12	0.3537
F11	REP1	15.5	0.155	0.4047
F12	REP1	16.9	0.169	0.4237
F13	REP1	5.1	0.051	0.2278
F14	REP1	12.8	0.128	0.3659
F15	REP1	16.5	0.165	0.4183
F16	REP1	12.1	0.121	0.3553
F1	REP2	0	0	0
F2	REP2	2.3	0.023	0.1522
F3	REP2	19.5	0.195	0.4574
F4	REP2	0	0	0
F5	REP2	0	0	0
F6	REP2	5.5	0.055	0.2367
F7	REP2	10.3	0.103	0.3267

F8	REP2	11.5	0.115	0.346
F9	REP2	13.2	0.132	0.3718
F10	REP2	8.6	0.086	0.2976
F11	REP2	13.2	0.132	0.3718
F12	REP2	11.7	0.117	0.3491
F13	REP2	2.3	0.023	0.1522
F14	REP2	8.5	0.085	0.2958
F15	REP2	11.1	0.111	0.3397
F16	REP2	8.9	0.089	0.3029
F1	REP3	0	0	0
F2	REP3	3.5	0.035	0.1882
F3	REP3	19.3	0.193	0.4548
F4	REP3	0	0	0
F5	REP3	0	0	0
F6	REP3	5.1	0.051	0.2278
F7	REP3	8.1	0.081	0.2886
F8	REP3	15.1	0.151	0.3991
F9	REP3	4.5	0.045	0.2138
F10	REP3	5.7	0.057	0.2411
F11	REP3	14.35	0.1435	0.3885
F12	REP3	10.3	0.103	0.3267
F13	REP3	3.7	0.037	0.1936
F14	REP3	10.65	0.1065	0.3324
F15	REP3	10.2	0.102	0.3251

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la Tabla 24, se realizó el procesamiento de datos para un Análisis de varianza y la Prueba de Tukey con nivel de significancia de 0.05.

Tabla 25

Estadísticos de ajuste del modelo para el análisis del rendimiento biológico.

Variable de observación	Número de observaciones (N)	Coefficiente de determinación (R^2)	Coefficiente de determinación ajustado (R^2 Aj)	Coefficiente de variación (%)
ASEN_Ren/100	48	0.96	0.94	14.19

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 25 se desprende que el número de observaciones o unidades experimentales del estudio es 48; asimismo, el coeficiente de determinación (R^2) indica que **el 96% de la variabilidad en el rendimiento (transformado) puede ser explicada por el modelo estadístico utilizado**, que incluye los efectos de las repeticiones y los tratamientos (formulaciones del sustrato). Así también, el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{Aj}), ajusta el R^2 considerando el número de variables predictoras en el modelo; por tanto, un R^2 ajustado de 0.94 sugiere que el modelo explica el 94% de la variabilidad en los datos. Finalmente, un coeficiente de variación (CV) moderado de 14.19% sugiere que, aunque existe cierta variabilidad en los datos, ésta no es excesivamente alta, lo que respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos en el experimento. Estos indicadores estadísticos apoyan la validez del diseño experimental y la robustez de los resultados obtenidos en el estudio sobre la producción de *Pleurotus ostreatus* utilizando residuos de café como sustrato.

Tabla 26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F calculado	P valor
Modelo	1.02	17	0.06	43.55	<0.0001
Repetición	0.03	2	0.02	10.94	0.0003
Formulación	0.99	15	0.07	47.89	<0.0001
Error	0.04	30	1.40E-03		
Total	1.06	47			

Fuente: Elaboración propia

Basándose en los resultados del análisis de varianza para el rendimiento biológico, expresado en porcentaje, se pueden interpretar lo siguiente:

En cuanto a las repeticiones, se observa un p-valor de 0.0003, lo cual es menor que el nivel de significación comúnmente utilizado de 0.05. Esto podría indicar la presencia de factores no controlados que afectan los resultados entre repeticiones; sin embargo, se realizó el Diseño Completamente al Azar para la distribución de las unidades experimentales en el ambiente de cultivo con el fin de distribuir estas variaciones al azar.

Con respecto a las formulaciones (tratamientos), se observa un p-valor menor a 0.0001, lo cual es altamente significativo. Este resultado indica que existen

diferencias estadísticamente significativas entre las distintas formulaciones de sustrato utilizadas en el experimento.

Esto sugiere que la composición del sustrato, basada en los residuos de café, tiene un impacto significativo en el rendimiento biológico del hongo *Pleurotus ostreatus*. **Las variaciones en la formulación del sustrato parecen influir de manera importante en la producción del hongo, lo que respalda la hipótesis de que la valorización de los residuos de café puede ser una alternativa viable para la producción de este hongo comestible.**

Tabla 27

Prueba de Tukey

Formulación	Rendimiento (%)	Agrupación			
F3	19.73	A			
F8	15.1	A	B		
F11	14.35	A	B		
F12	12.97	A	B		
F15	12.6		B		
F9	12.53		B		
F14	10.65		B	C	
F7	9.73		B	C	D
F10	8.77		B	C	D
F16	8.7		B	C	D
F6	5.67			C	D E
F13	3.7				D E
F2	3.5				D E
F1	0				E
F4	0				E
F5	0				E
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)					

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la Prueba de Tukey para el rendimiento de *Pleurotus ostreatus* en diferentes formulaciones de sustrato a base de residuos de café revelan diferencias significativas en el rendimiento.

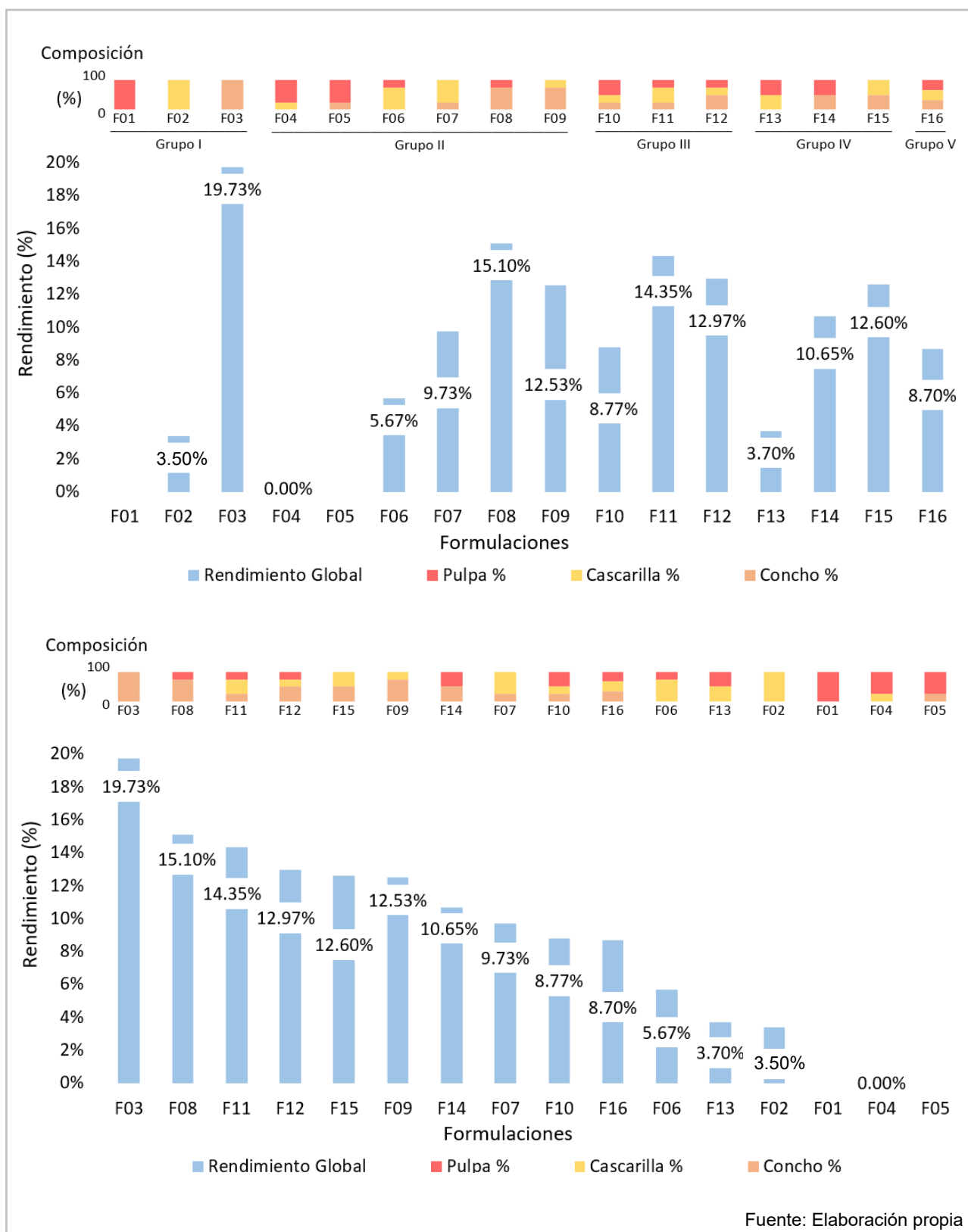


Figura 20

Rendimiento medio ordenado por grupos (arriba) y en orden decreciente (abajo)

5.2.2. Análisis por formulación

La formulación F3 mostró el rendimiento más alto con un 19.73%, destacándose significativamente de las demás. Este resultado sugiere que la composición específica de F3 proporciona condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo del hongo.

Las formulaciones F8, F11 y F12 también presentaron rendimientos notables, con valores de 15.1%, 14.35% y 12.97% respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellas ni con F3. Esto indica que estas formulaciones también son efectivas para la producción de *P. ostreatus*, aunque en menor medida que F3.

Un grupo intermedio de formulaciones, que incluye F15, F9, F14, F7, F10 y F16, mostró rendimientos moderados, oscilando entre 12.6% y 8.7%. Estas formulaciones, aunque menos eficientes que las primeras, aún demuestran potencial para la producción del hongo.

Las formulaciones F6, F13, F2 y F1 exhibieron rendimientos significativamente más bajos, variando desde 5.67% hasta 0%. Estos resultados sugieren que estas composiciones de sustrato son menos adecuadas para el cultivo de *P. ostreatus* en las condiciones experimentales dadas.

Es notable que las formulaciones F1, F4 y F5 no produjeron ningún rendimiento (0%), indicando que estas composiciones de sustrato no son viables para el cultivo de *P. ostreatus*.

Estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre la influencia de la composición del sustrato en el rendimiento de *P. ostreatus*. Las diferencias observadas entre las formulaciones pueden atribuirse a variaciones en la disponibilidad de nutrientes, la estructura física del sustrato, o la presencia de compuestos que favorecen o inhiben el crecimiento del hongo.

La identificación de formulaciones de alto rendimiento, particularmente F3, F8, F11 y F12, ofrece direcciones prometedoras para la optimización de la producción de *P. ostreatus* utilizando residuos de café como sustrato. Estos resultados respaldan el potencial de esta práctica como

una alternativa viable para la valorización agroecológica de residuos de café en la comunidad de Shucush, Amazonas.

5.2.3. Análisis por grupos

Así pues, la formulación F03 con el 100% de residuos de concho se convierte en la que mejores resultados en cuando a la variable de rendimiento ha tenido por cada oleada productiva y en cada repetición o unidad experimental. Así también, analizando por grupos, según lo que se desprende de la parte superior de la Figura 20 es que algunas formulaciones con mayor presencia de concho destacan dentro de sus grupos:

- Para el **Grupo I** —de formulaciones compuestas por un solo tipo de residuo de presencia absoluta— se observa que la F03 (100% concho), con 19.73% de rendimiento, es la que resalta de manera notaria frente a las otras dos formulaciones: F02 (100% cascarilla) con 3.5% y F01 (100% pulpa) con rendimiento nulo.
- Para el **Grupo II** —de formulaciones compuestas por dos residuos, con la presencia mayoritaria del 75% de un tipo de residuo— se visualiza que destacan los que contienen mayor presencia de concho: F08 ($\frac{3}{4}$ concho + $\frac{1}{4}$ pulpa), con 15.1% de rendimiento, y la F09 ($\frac{3}{4}$ concho + $\frac{1}{4}$ cascarilla), con 12.53%. Luego le siguen los que tienen presencia de cascarilla como la F07 ($\frac{3}{4}$ cascarilla + $\frac{1}{4}$ concho), con 9.73% y la F06 ($\frac{3}{4}$ cascarilla + $\frac{1}{4}$ pulpa), con 5.67%. Finalmente, los de mayor presencia de pulpa, tanto la F04 ($\frac{3}{4}$ pulpa + $\frac{1}{4}$ cascarilla) como la F05 ($\frac{3}{4}$ pulpa + $\frac{1}{4}$ concho) tuvieron rendimientos nulos.
- Para el **Grupo III** —de formulaciones compuestas con tres residuos, con la presencia mayoritaria del 50% de un tipo de residuo— se aprecia que destaca la F11 ($\frac{1}{2}$ cascarilla + $\frac{1}{4}$ pulpa + $\frac{1}{4}$ concho) con 14.35% de rendimiento, seguida de la F12 ($\frac{1}{2}$ concho + $\frac{1}{4}$ pulpa + $\frac{1}{4}$ cascarilla) con 12.97% y por último la F10 ($\frac{1}{2}$ pulpa + $\frac{1}{4}$ concho + $\frac{1}{4}$ cascarilla) con 8.77% de rendimiento.
- Para el **Grupo IV** — de formulaciones compuestas por dos residuos de presencia equitativa 50% y 50%— se percibe que la F15 ($\frac{1}{2}$ concho + $\frac{1}{2}$ cascarilla) obtuvo un rendimiento de 12.97 %, la F14 ($\frac{1}{2}$ concho + $\frac{1}{2}$

pulpa) con 10.65% y finalmente la F13 ($\frac{1}{2}$ pulpa + $\frac{1}{2}$ cascarilla) con 3.7%.

- Para el **Grupo V** —de formulación equitativa para los tres residuos— se tiene que la F16 tuvo 8.7% de rendimiento medio.

5.2.4. Análisis global

- Las formulaciones que cuentan con el 50% o más de concho de café en su composición tuvieron un rendimiento superior al 10%. Esto aplica para formulaciones como la **F14** ($\frac{1}{2}$ concho + $\frac{1}{2}$ pulpa) con 10.65% de rendimiento; la **F09** ($\frac{3}{4}$ concho + $\frac{1}{4}$ cascarilla) con 12.53%; la **F15** ($\frac{1}{2}$ concho + $\frac{1}{2}$ cascarilla) obtuvo 12.6%; la **F12** ($\frac{1}{2}$ concho + $\frac{1}{4}$ pulpa + $\frac{1}{4}$ cascarilla) obtuvo 12.97%; la **F08** ($\frac{3}{4}$ concho + $\frac{1}{4}$ pulpa) con 15.1%; y la F03 (100% concho) obtuvo 19.73% de rendimiento medio.
- En el caso de la **F08**, presenta residuo de concho en la mitad de su composición, así como 25% de cascarilla y 25% pulpa, logrando obtener también un buen rendimiento medio.
- Se observa una **buena asociación de residuos en el caso del concho y la cascarilla de café** (F09 y F15) pero no se observa esta misma sinergia en el caso de la cascarilla y la pulpa, en el caso de las formulaciones F06 y F13.
- Las formulaciones que tuvieron en su composición la presencia de pulpa de 75% a más, tuvieron una producción nula en las tres oleadas. Estas formulaciones fueron: F01, F04 y F05.

5.2.5. Resultados de la primera ola productiva

Para la primera ola productiva se obtuvo datos de producción de un total de 34 unidades experimentales (UE), puesto que 14 de ellas no produjeron cuerpos fructíferos.

Sobre las cosechas de la primera ola productiva del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, según la Figura 21 y su gráfico de cajas de la parte inferior, se puede apreciar que se inició el 30 de septiembre y terminó

aproximadamente el 2 de noviembre para un grupo de valores normales; sin embargo, el 50% de los datos se concentraron entre el 3 y el 15 de octubre. Además, la cosecha acumulada fue de 2523 g; mientras que la cosecha máxima fue de 151 g, producto de la UE28 (F03) y cosechada el 06 de octubre; así también, la cosecha mínima fue de 10 g, producto de la UE07 (F02) el 2 de noviembre.

Además, la Figura 21 muestra dos valores atípicos pues se alejan mucho de las fechas de producción normales, este es el caso de la UE16 (F16) que produjo 51 g el 5 de noviembre, 73 días después de la siembra; además se tiene la UE21 (F15) que produjo 66 g el 4 de diciembre, 102 días después de la siembra. Sin embargo, estos valores atípicos igual serán tomados en cuenta en el cálculo de los rendimientos.

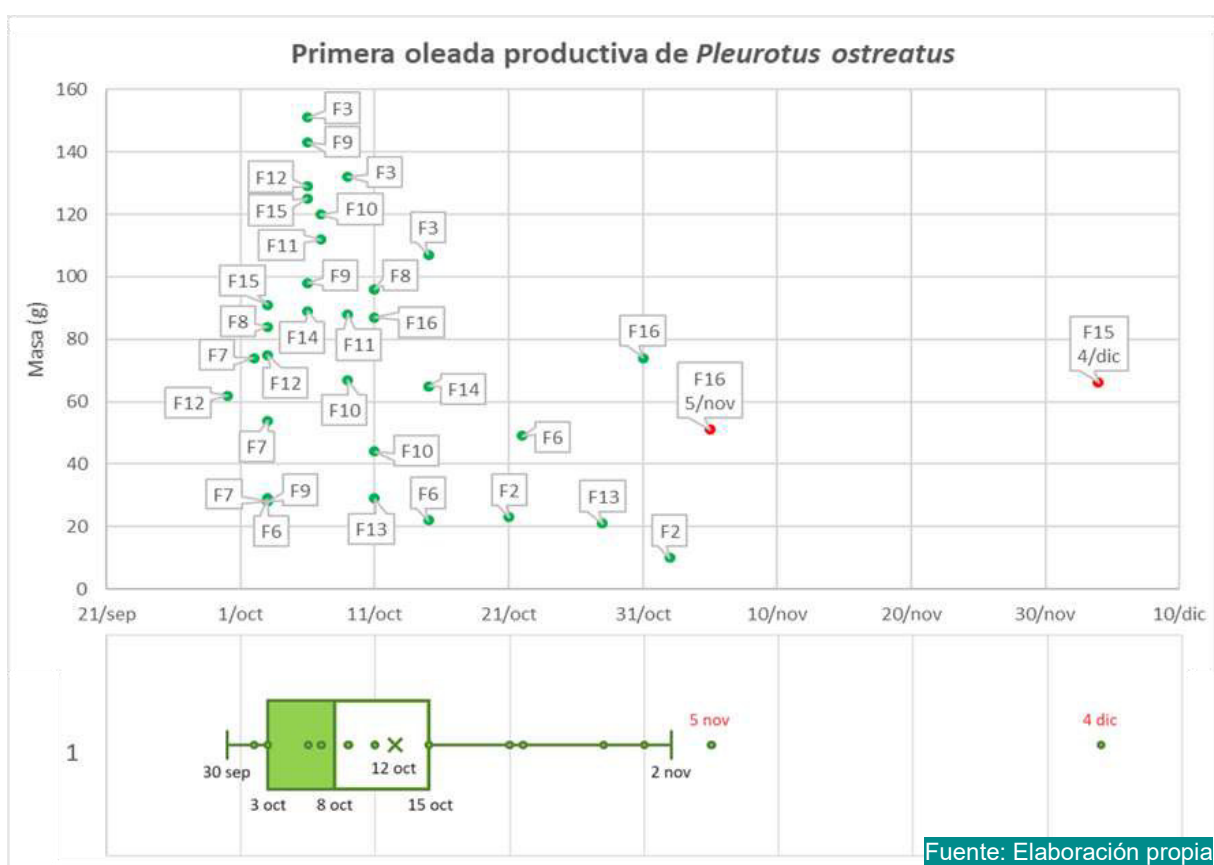


Figura 21

*Primera oleada productiva de *Pleurotus ostreatus* distribuida por fechas*

Además, la Figura 21 muestra dos valores atípicos pues se alejan mucho de las fechas de producción normales, este es el caso de la UE16 (F16) que produjo 51 g el 5 de noviembre, 73 días después de la siembra; además se tiene la UE21 (F15) que produjo 66 g el 4 de diciembre, 102 días después de la siembra. Sin embargo, estos valores atípicos igual serán tomados en cuenta en el cálculo de los rendimientos.

Mientras tanto la Figura 22 presenta los valores acumulados de masa obtenidos en la primera ola productiva de *Pleurotus ostreatus* para cada formulación, estos valores se calcularon sumando los valores de todas las unidades experimentales válidos. La formulación que mayor masa produjo en la primera ola fue la F03, con 390 g; luego le sigue la F15 con 282 y la F09 con 269 g.

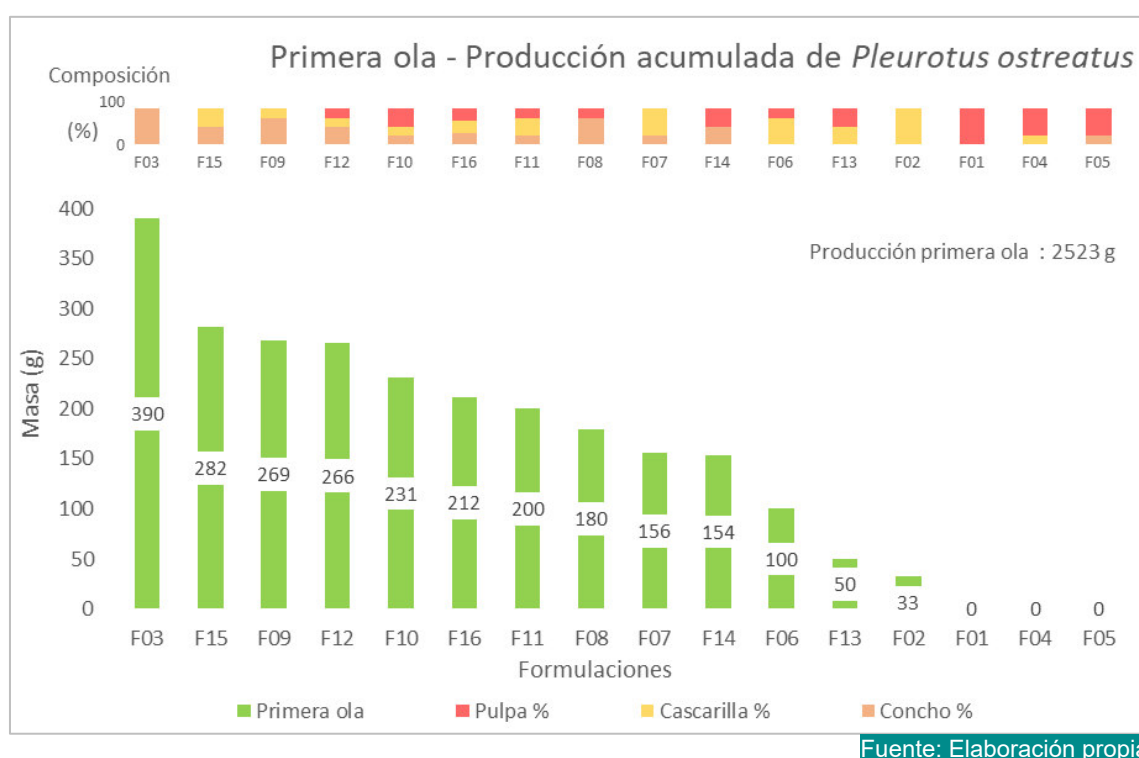
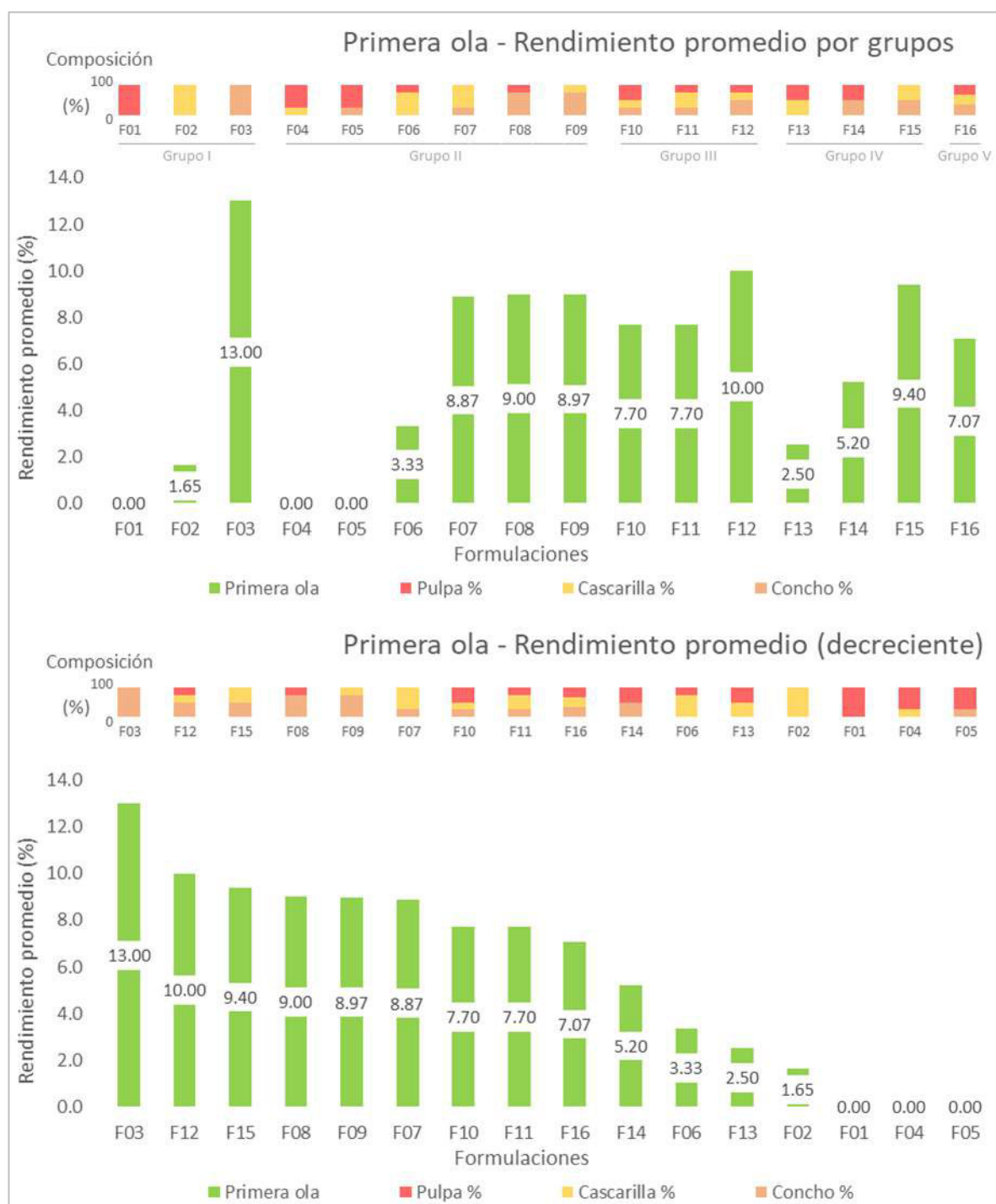


Figura 22

*Primera ola productiva de *P. ostreatus*, valores acumulados por formulación*

Así también, en la Figura 23 observamos el rendimiento promedio por cada formulación. En la figura superior se muestra los mismos datos ordenados por grupos según el porcentaje composición, en cada grupo destacan los que cuenta con mayor presencia de concho de café: la F03, F08, F09, F12, F15.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Rendimiento promedio primera ola según formulación ordenado por grupos y decreciente

5.2.6. Resultados de la segunda ola productiva

Para la segunda ola productiva se obtuvo datos de producción de un total de 32 unidades experimentales (UE); contando con 2 unidades experimentales menos que en la primera oleada, las cuales son: la UE 30 con la F10 (50% pulpa, 25% cascarilla y 25% concho) y la UE16 con la F16 (33.33% de cada tipo de residuo).

El gráfico de cajas de la Figura 24 muestra que esta oleada inició el 21 de octubre y terminó aproximadamente el 10 de diciembre para los valores típicos, la mitad de los datos se concentraron entre el 29 de octubre y el 15 de noviembre. Así pues, se tuvo un dato atípico, producto de la UE21 (F15), que al igual que en la primera oleada también produjo de manera tardía, siendo esta su última producción con 36 g, el 21 de diciembre, el último día de cosecha que se tuvo en el experimento en general.

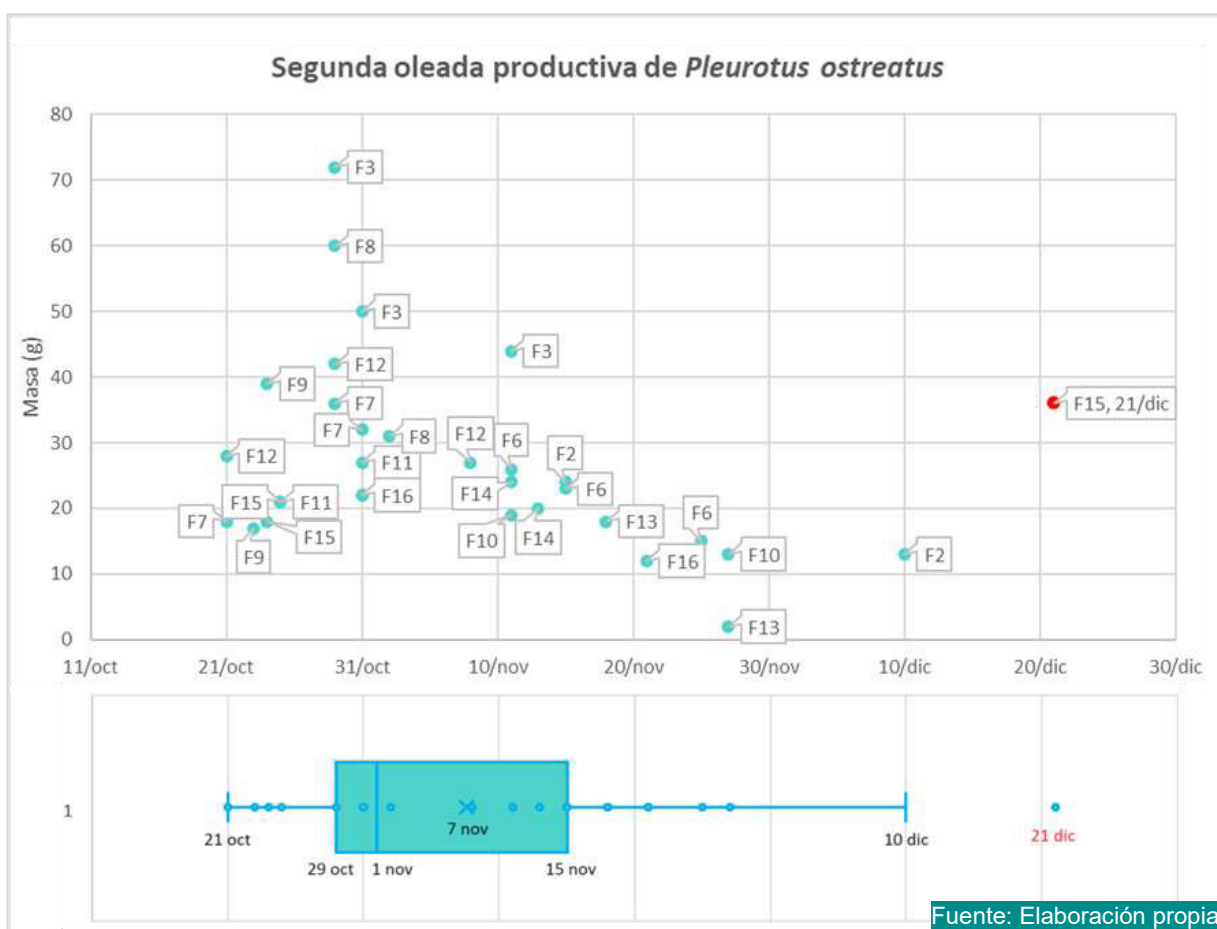


Figura 24

*Segunda oleada productiva de *Pleurotus ostreatus* distribuida por fechas*

En la segunda ola productiva se tuvo una producción acumulada de 872 g; se observa de la Figura 24 y la Tabla 23, que la producción máxima la tuvo la UE11 (F03), con 72 g de producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, cosechada el 29 de octubre; por el contrario, la producción mínima fue de 2 g, de la UE44 (F13), cosechada el 27 de noviembre.

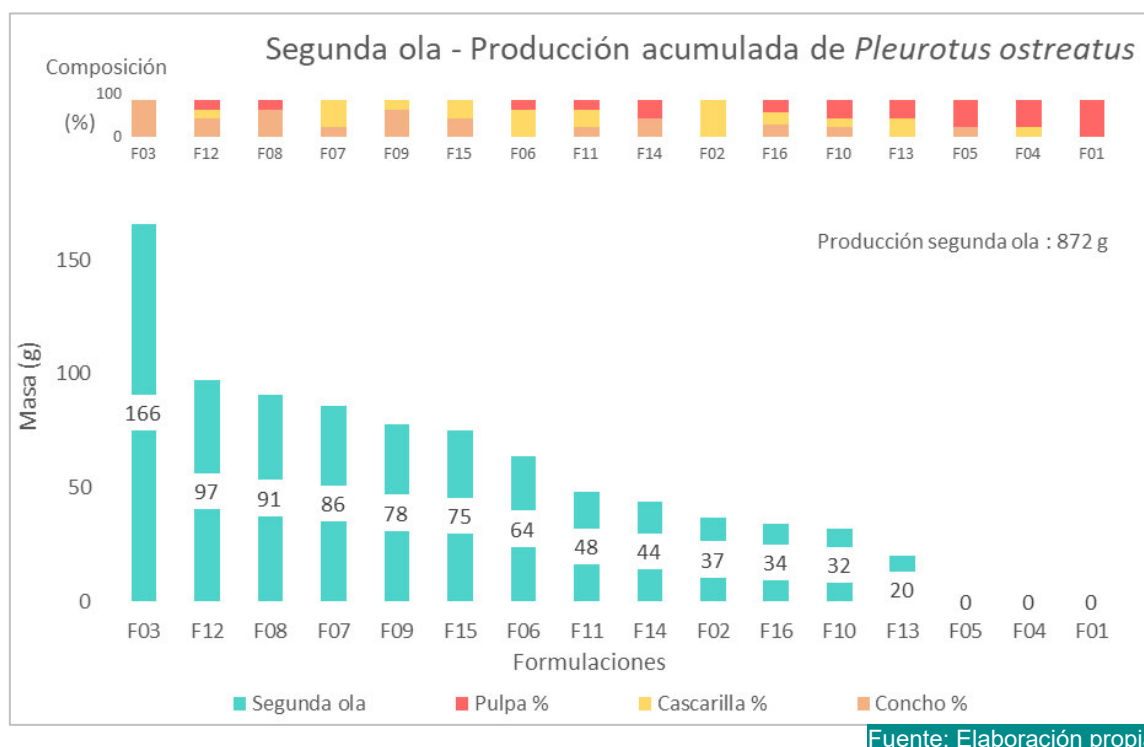


Figura 25

*Segunda oleada productiva de *P. ostreatus*, valores acumulados por formulación*

Así también, la Figura 25 presenta para cada formulación la masa acumulada de sus unidades experimentales a lo largo de la segunda oleada productiva de *Pleurotus ostreatus*. De esta manera, la formulación que tuvo una mayor producción acumulada fue la F03, con 166 g del hongo comestible; luego le sigue la F12 con 97 g y la F08 con 91 g.

Para la Figura 26 observamos el rendimiento promedio por cada formulación. En la figura superior se muestra los mismos datos ordenados por grupos según el porcentaje composición, en cada grupo destacan los que cuenta con mayor presencia de concho de café. Por ejemplo: La F03, la F08, F12, F14 y F15.



Figura 26

Rendimiento promedio segunda ola según formulación ordenado por grupos y decreciente

5.2.7. Resultados de la tercera ola productiva

Como datos importantes de la tercera ola productiva se tiene que solo produjeron unas 18 UE; esto representa el 53% de unidades experimentales que también produjeron en la primera oleada y lograron completar las tres oleadas productivas.

De acuerdo con la Figura 27 y su gráfico de cajas de la parte inferior, se puede apreciar que esta oleada productiva se inició el 11 de noviembre y terminó aproximadamente el 21 de diciembre para un grupo de valores normales; sin embargo, el 50% de los datos se concentraron entre el 27 de noviembre y el 12 de diciembre.

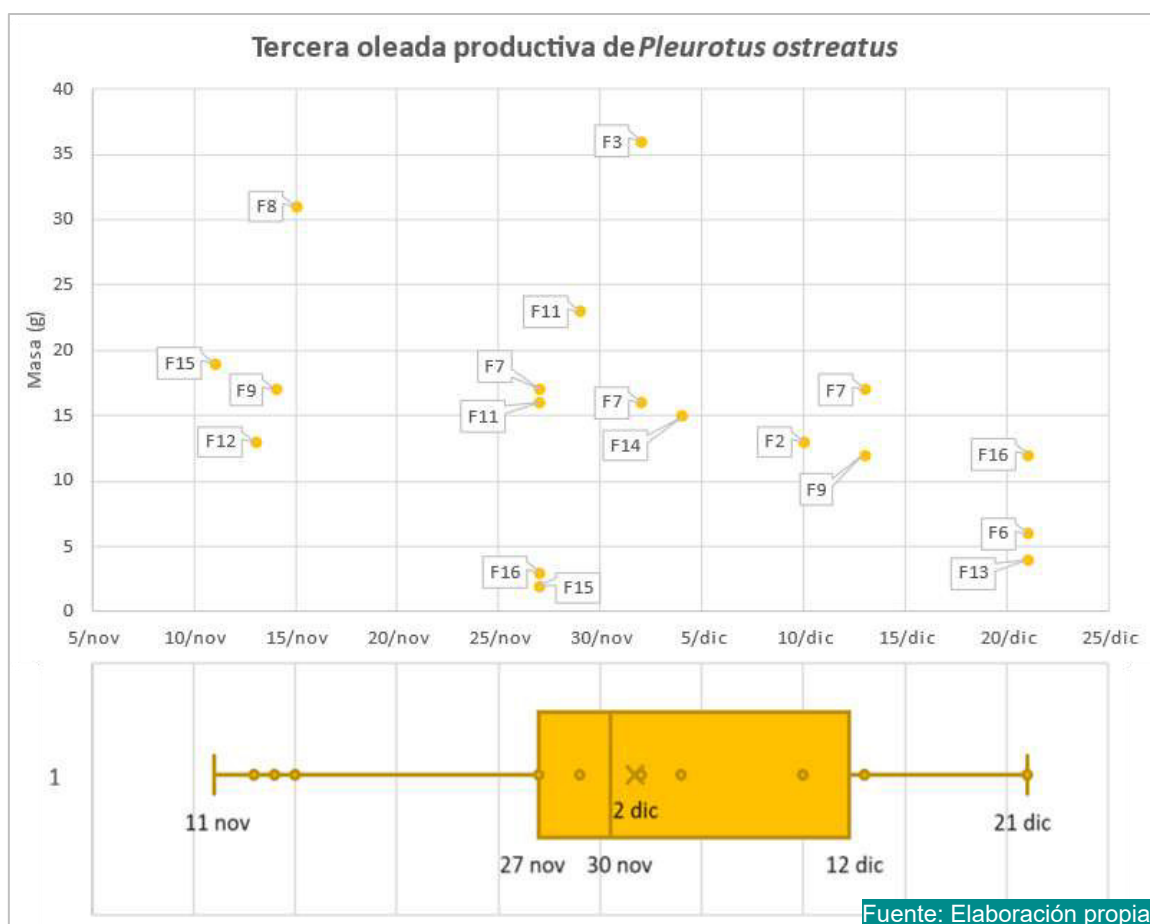


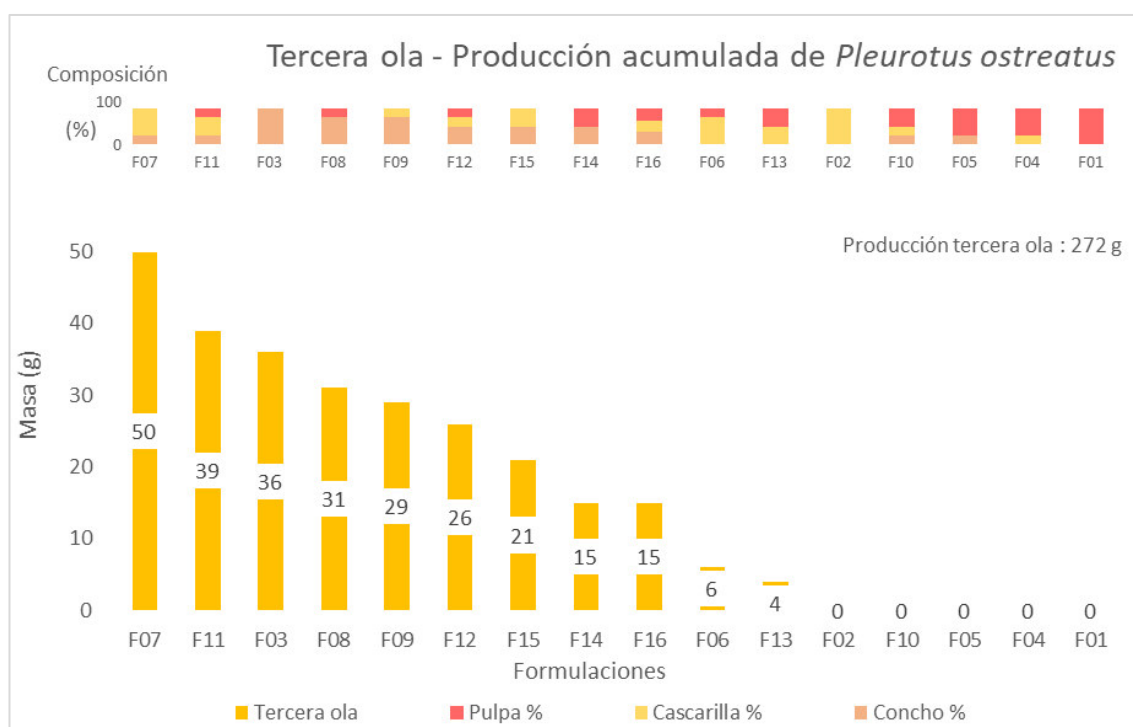
Figura 27

*Tercera oleada productiva de *Pleurotus ostreatus* distribuida por fechas*

Además, se tiene que la cosecha acumulada de la tercera oleada productiva del hongo comestible fue de 272 g; mientras que la cosecha máxima fue de 36 g, producto de la UE33 (F03) y cosechada el 02 de diciembre; así también,

la mínima producción fue de 2 g, por la UE43 (F15), cosechada en 27 de noviembre. De esta manera, para esta última oleada dejaron de producir las siguientes UE:

- La UE16 (F16), solo produjo la primera oleada y UE21 (F15), con valores atípicos de fecha no llegaron a producir hasta esta oleada.
- La UE39 (F14), UE44 (F13), UE08 (F12), UE30 (F10), UE06 (F10), UE46 (F10), UE01 (F09), UE29 (F08), UE47 (F06), UE 22 (F06), UE11 (F03), UE28 (F03), UE38 (F02), UE07 (F02). De este grupo destacan las unidades de formulación F03 que tuvieron producciones resaltantes en la primera y segunda oleada, y que, a pesar de no tener producción en esta tercera oleada, superaron a la UE33 (F03) que acumuló 193 g con sus tres cosechas; mientras tanto, la UE11 (F03) acumuló en dos oleadas 195 g, y la UE28 (F03) acumuló en dos oleadas 204 g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

*Tercera ola productiva de *Pleurotus ostreatus*, valores acumulados por formulación*

Así también, la Figura 28 presenta para cada formulación la masa acumulada de sus unidades experimentales a lo largo de la tercera oleada productiva de *Pleurotus ostreatus*. De esta manera, la formulación que tuvo una mayor

producción acumulada fue la F07, con 50 g del hongo comestible; luego le sigue la F11 con 39 g y la F03 con 36 g. Mientras tanto la Figura 29 resalta la F03 con el 3.6% de rendimiento promedio.

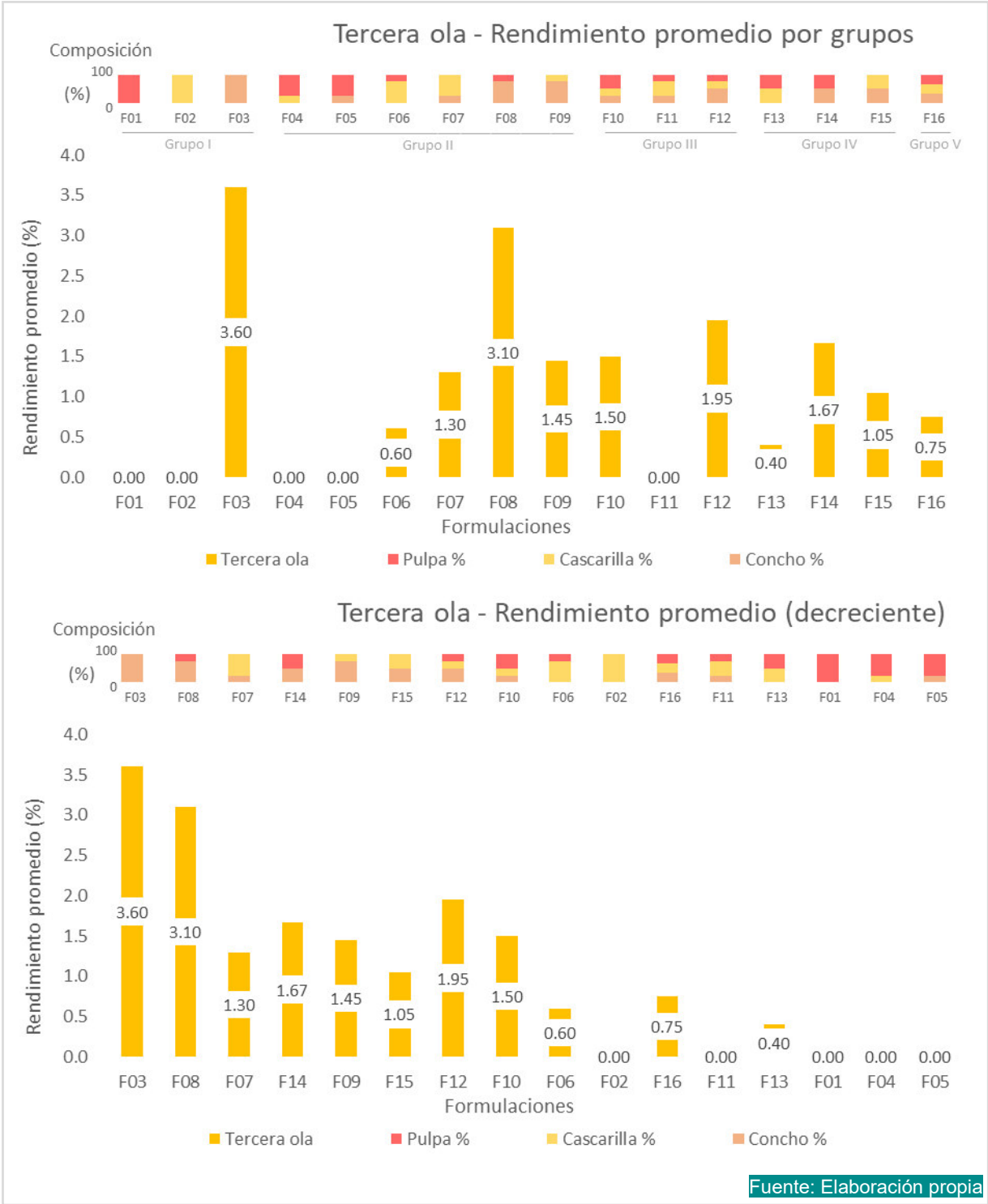
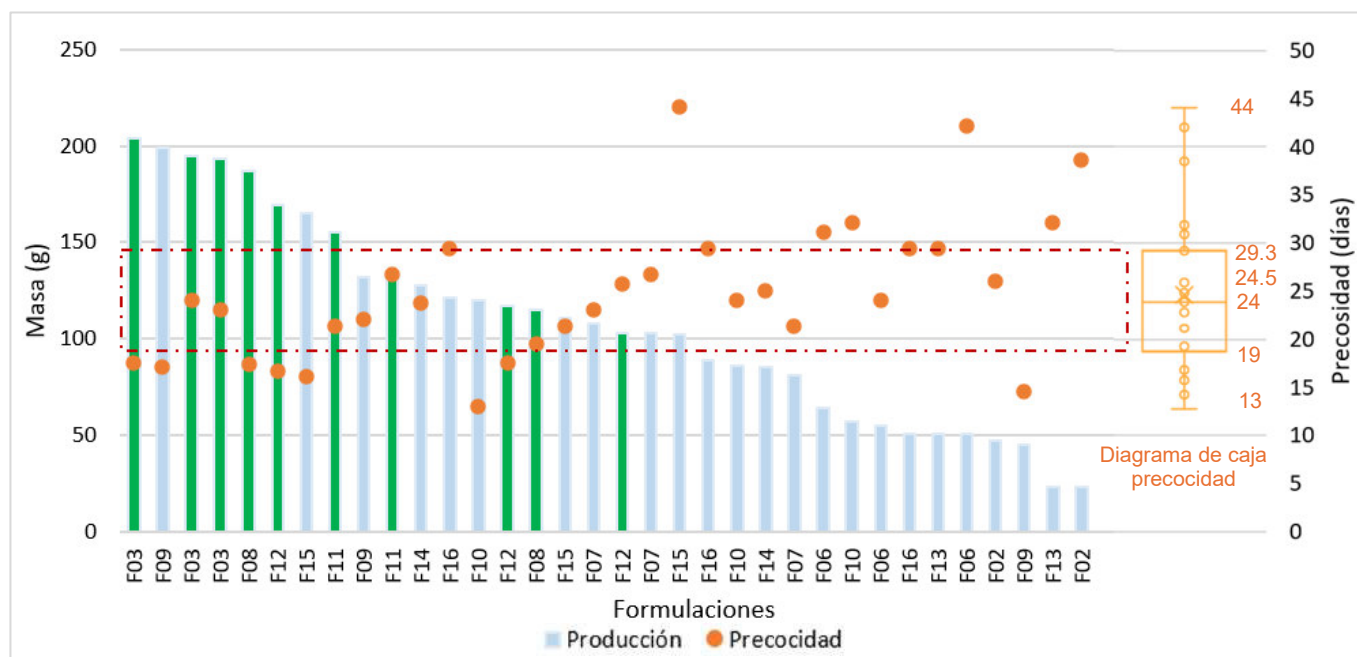


Figura 29
Rendimiento promedio tercera ola según formulación ordenado por grupos y decreciente

5.3. Del Objetivo 3: determinación de la formulación más eficiente

- En el presente acápite se identifican las formulaciones de sustrato más eficientes para implementar el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas.

Para ello, en términos de eficiencia y sabiendo que la primera ola representa más de la mitad de la producción acumulada, se considerará para el cálculo de la variable de precocidad, la diferencia en días entre fecha que detalla la primera cosecha y la fecha de inducción. Así pues, de manera general, la Figura 30 revela una tendencia que indicaría que a la mayor producción acumulada de una unidad experimental también se relaciona con la menor precocidad. La Figura 30 muestra en barras la producción acumulada de cada unidad experimental, mostrando en el eje x su formulación; asimismo se observa al lado derecho un diagrama de caja para los valores de precocidad, donde se observa que el rango va de 13 días (mínimo) hasta 44 días (máximo). Además, el 50% de los datos se comprenden entre los 19 a 29.3 días (rango intercuartílico, dentro del cuadro con líneas punteadas).



Fuente: Elaboración propia

Figura 30
Producción acumulada vs precocidad

Las formulaciones por debajo de la mediana (24 d) y el promedio (24.5 d) podrían considerarse más eficientes en tiempo de producción; sin embargo, se tiene que analizar el rendimiento.

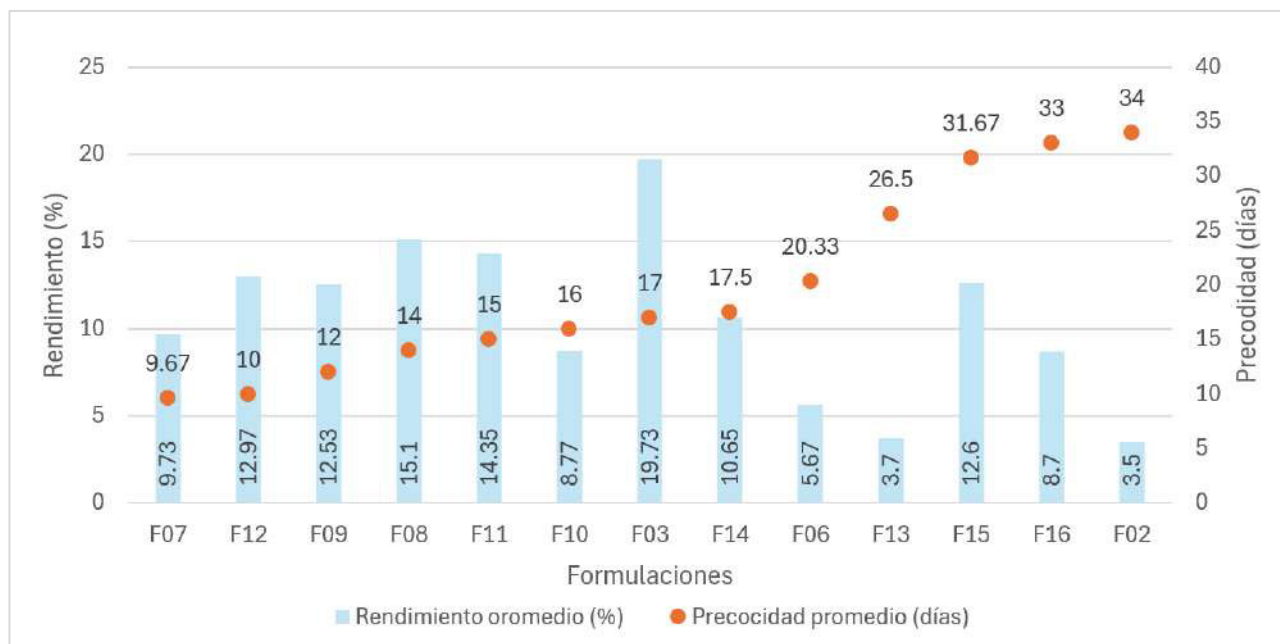
Tabla 28

Tabla de valores por unidad experimental, masa acumulada, rendimiento global y precocidad promedio

UE	Fórmula	#UE válidas	Masa (g)	Masa acumulada (g)	Rendimiento promedio (%)	Precocidad (días)	Precocidad promedio (días)
7	F02	2	23	70.00	3.50%	28	34.00
38	F02	2	47			40	
11	F03	2	204	592.00	19.73%	13	17.00
28	F03	2	195			16	
33	F03	3	193			22	
22	F06	2	55	170.00	5.67%	10	20.33
26	F06	3	51			22	
47	F06	2	64			29	
14	F07	3	108	292.00	9.73%	9	9.67
24	F07	3	81			10	
35	F07	3	103			10	
29	F08	2	115	302.00	15.10%	10	14.00
36	F08	3	187			18	
1	F09	2	45	376.00	12.53%	10	12.00
9	F09	3	199			13	
13	F09	3	132			13	
6	F10	2	86	263.00	8.77%	14	16.00
30	F10	1	120			16	
46	F10	2	57			18	
15	F11	3	155	287.00	14.35%	14	15.00
27	F11	3	132			16	
4	F12	3	103	389.00	12.97%	7	10.00
8	F12	2	117			10	
45	F12	3	169			13	
25	F13	3	51	74.00	3.70%	18	26.50
44	F13	2	23			35	
17	F14	3	128	213.00	10.65%	13	17.50
39	F14	2	85			22	
21	F15	2	102	378.00	12.60%	10	31.67
37	F15	3	165			13	
43	F15	3	111			72	
16	F16	1	51	261.00	8.70%	18	33.00
23	F16	3	121			38	
41	F16	3	89			43	

Fuente: Elaboración propia

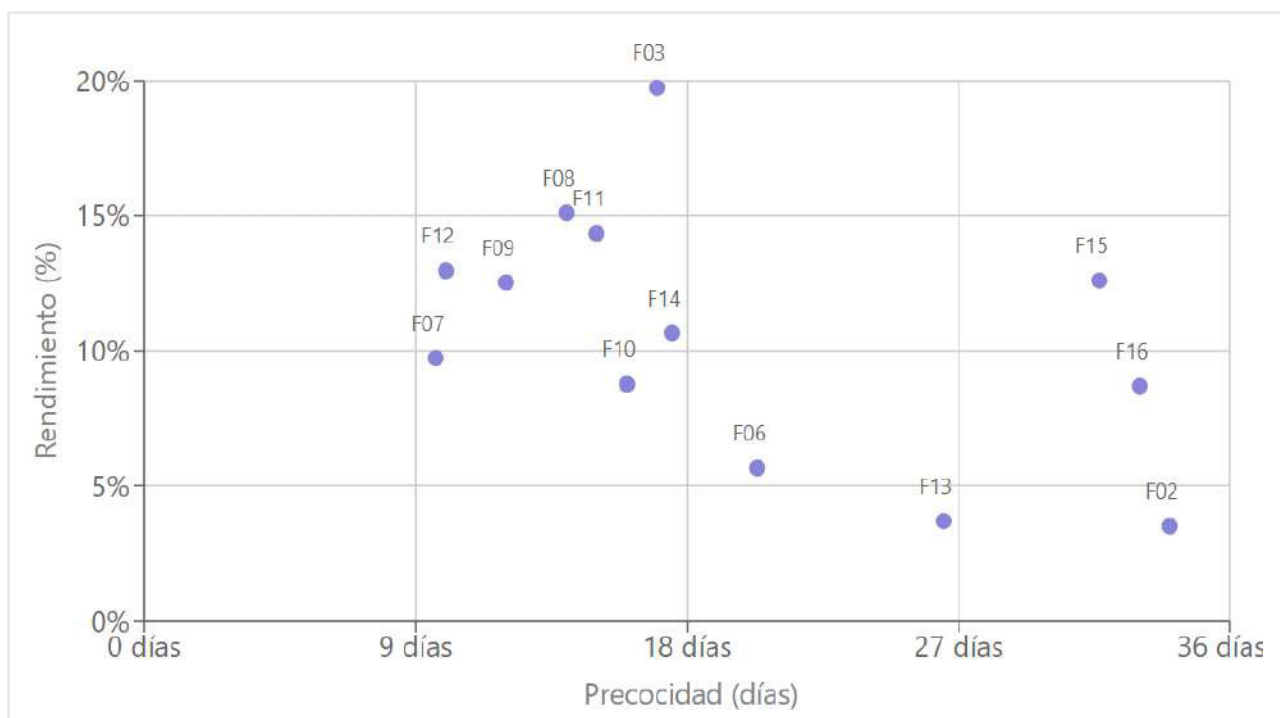
De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 28, se elaboraron la Figura 31 y Figura 32.



Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Rendimiento promedio (%) vs Precocidad promedio (días)



Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Gráfico de dispersión: Rendimiento promedio (%) vs Precocidad promedio (días)

Al examinar la Figura 32, el gráfico de dispersión que relaciona el rendimiento con la precocidad, se observa una tendencia general donde las formulaciones con menor tiempo de precocidad tienden a mostrar rendimientos más altos, aunque existen excepciones notables a esta tendencia. Esta observación sugiere que la eficiencia en la producción de *P. ostreatus* no solo depende del rendimiento final, sino también del tiempo necesario para alcanzar dicho rendimiento.

Entre las formulaciones evaluadas, la F03 se destaca significativamente, alcanzando el rendimiento más alto con un 19.73%. Este resultado es particularmente relevante considerando que su tiempo de precocidad (17 días) se sitúa en un rango intermedio. La formulación F03 podría representar una opción altamente eficiente para la producción de *P. ostreatus*, especialmente en contextos donde se prioriza la maximización del rendimiento.

Por otro lado, la formulación F08 muestra un equilibrio notable entre rendimiento y precocidad, con un 15.1% de rendimiento y un tiempo de precocidad de 14 días. Asimismo, la F11 presenta igual un equilibrio con un rendimiento promedio de 14.35% y 15 días de precocidad. Estas formulaciones podrían ser consideradas como alternativas óptimas en situaciones donde se busca un balance entre un alto rendimiento y un tiempo de producción relativamente corto.

Es importante señalar que las formulaciones F02 (100% cascarilla) y F13 (50% cascarillas y 50% pulpa) presentaron los rendimientos más bajos (3.5% y 3.7% respectivamente) con los tiempos de precocidad más prolongados (34 y 26.5 días), lo que las posiciona como las opciones menos eficientes entre las evaluadas. Asimismo, se excluyó de este análisis la F01, F04 y F05 por su rendimiento nulo. Estos resultados sugieren que ciertas combinaciones de residuos de café en el sustrato pueden inhibir significativamente la producción de *P. ostreatus*.

5.4. Análisis general de los resultados

El análisis detallado de la composición de las formulaciones del sustrato en relación con el rendimiento y la precocidad de *Pleurotus ostreatus* revela patrones significativos que aportan información valiosa para la optimización de la producción de este hongo comestible utilizando residuos de café. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes:

Impacto de los sustratos puros (Grupo I):

La formulación F03, compuesta exclusivamente por concho de café (100%), mostró el rendimiento más alto (19.73%) con una precocidad moderada (17 días). Este resultado sugiere que el concho de café, cuando se utiliza como único sustrato, proporciona condiciones altamente favorables para el crecimiento de *P. ostreatus*. En contraste, la formulación F02, compuesta únicamente por cascarillas (100%), presentó el rendimiento más bajo (3.5%) y la precocidad más alta (34 días), indicando que las cascarillas por sí solas no son un sustrato adecuado para la producción eficiente de este hongo. La fórmula F01, compuesta únicamente por pulpa de café (100%) no produjo crecimiento alguno, lo que podría indicar la presencia de compuestos inhibidores o la falta de nutrientes esenciales en la pulpa de café pura.

Eficacia de las mezclas binarias (Grupos II y IV):

Las formulaciones que combinan dos tipos de residuos mostraron resultados variables. Notablemente, la formulación F08 (25% pulpa, 75% concho) alcanzó el segundo mejor rendimiento (15.1%) con una precocidad relativamente baja (14 días). Esto sugiere que la adición de una pequeña proporción de pulpa al concho puede mejorar la eficiencia general del sustrato, posiblemente debido a una complementariedad nutricional o estructural.

Rendimiento de las mezclas ternarias (Grupos III y V):

Las formulaciones que incorporan los tres tipos de residuos mostraron rendimientos moderados. La formulación F11 (25% pulpa, 50% cascarillas, 25% concho) logró un rendimiento notable de 14.35% con una precocidad de 15 días, indicando que una combinación equilibrada de los tres residuos

puede proporcionar condiciones favorables para el crecimiento de *P. ostreatus*.

Influencia de la proporción de concho:

Se observa una tendencia general donde las formulaciones con mayor proporción de concho tienden a mostrar mejores rendimientos. Esto se evidencia no solo en la formulación F03 (100% concho), sino también en F08 (75% concho) y F09 (75% concho), que presentaron rendimientos de 15.1% y 12.53% respectivamente. Esta observación sugiere que el concho de café podría ser el componente más beneficioso para el crecimiento de *P. ostreatus* entre los residuos evaluados.

Efecto de las cascarillas:

Las formulaciones con altas proporciones de cascarillas generalmente mostraron rendimientos más bajos y tiempos de precocidad más largos. Además de F02 (100% cascarillas), la formulación F13 (50% pulpa, 50% cascarillas) también presentó un rendimiento bajo (3.7%) y una precocidad alta (26.5 días). Esto indica que las cascarillas, en altas proporciones, podrían inhibir el crecimiento de *P. ostreatus*, posiblemente debido a su estructura física o composición química.

Rol de la pulpa de café:

Aunque la pulpa de café no obtuvo buenos resultados como sustrato único y en proporciones mayores al 75%, su presencia en proporciones moderadas parece contribuir positivamente al rendimiento cuando se combina con otros residuos. Por ejemplo, F12 (25% pulpa, 25% cascarillas, 50% concho) mostró un buen rendimiento (12.97%) con la segunda mejor precocidad (10 días).

Equilibrio entre rendimiento y precocidad:

Las formulaciones que lograron un buen equilibrio entre alto rendimiento y baja precocidad, como F03, F08 y F11, generalmente contenían una mezcla de los tres tipos de residuos o una combinación de pulpa y concho. Esto sugiere que la diversidad en la composición del sustrato puede contribuir a un crecimiento más rápido y eficiente de *P. ostreatus*.

6.0. DISCUSIÓN

Como dificultad se encontró que, durante el proceso experimental, 14 unidades no produjeron resultados, en su mayoría aquellas con formulaciones que contenían altos porcentajes de pulpa de café (a partir del 75% en su composición), como las formulaciones F01, F04 y F05. Esto llevó a que los cálculos de producción en masa y rendimiento para dichas formulaciones resultaran nulos. La falta de producción podría atribuirse a problemas de contaminación en el sustrato de pulpa, tal como lo sugiere Sánchez (1944). La propagación de agentes biológicos, como larvas de mosca, debido a la humedad característica de la pulpa, parece haber sido un factor determinante en este resultado. Por lo tanto, es recomendable llevar a cabo investigaciones adicionales sobre los tratamientos de desinfección aplicados a los sustratos, especialmente en el caso de la pulpa de café. Debido a que el estudio se realizó en condiciones agroecológicas, no se utilizaron antibióticos para el control de las enfermedades.

No obstante, a pesar de los problemas asociados a la pulpa, se observaron excepciones importantes. La formulación F08, que también contenía pulpa en su composición, logró el segundo mejor rendimiento, alcanzando un 15.10%. De manera similar, la formulación F11, que combinaba 50% cascarilla, 25% concho y 25% pulpa, obtuvo un rendimiento destacado del 14.35%. Esto evidencia que no solo la presencia de pulpa, sino la proporción y combinación adecuada de residuos, es clave para optimizar la productividad.

García et al. (2011) señalaron que las características fisicoquímicas, junto con la textura y porosidad del sustrato, juegan un papel crucial en el adecuado intercambio gaseoso y la colonización del micelio, aspectos que deberían ser considerados en futuras investigaciones. Mendoza (2020) también concluyó que la pulpa de café, combinada con viruta de bolaina blanca, constituye un sustrato adecuado para la producción de *Pleurotus ostreatus*, lo que respalda los resultados obtenidos en el presente estudio, donde las formulaciones que combinaban diversos residuos mostraron una mayor uniformidad en la producción. Sin embargo, cuando la pulpa era el componente predominante, la compactación del sustrato pareció haber afectado negativamente el crecimiento del micelio.

Otro estudio relevante, el de Garzón et al. (2008), reportó que las formulaciones que contenían concho de café, ya fuera en combinación o de forma individual, presentaban rendimientos significativamente superiores ($p < 0.05$) en comparación con las que no incluían este residuo. Estos hallazgos coinciden con los del presente trabajo, donde las formulaciones con mayor proporción de concho de café demostraron mejores resultados en términos de precocidad y rendimiento.

En cuanto a los resultados específicos obtenidos en Shucush, Amazonas, la formulación F03 alcanzó un rendimiento del 19.73%, superando los reportados por Córdova (2021), quien registró un rendimiento del 5.16%. Este hallazgo reafirma el potencial de los residuos de café como un sustrato eficiente para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, especialmente bajo condiciones locales.

La variabilidad observada en los rendimientos de las formulaciones, con valores que alcanzaron hasta el 19.73%, es coherente con los resultados de García et al. (2011), quienes también reportaron diferencias significativas entre sus tratamientos. Esto pone de relieve la importancia crítica de la composición del sustrato para el éxito del cultivo de *P. ostreatus*. A diferencia de estudios previos, como el de Nieto-Juárez et al. (2021), que se centraron exclusivamente en la borra de café, este trabajo exploró una gama más amplia de residuos, incluyendo pulpa y pergamino, lo que permitió identificar formulaciones más eficientes y adaptadas a los recursos disponibles en la comunidad de Shucush.

Si bien no se realizó un análisis nutricional detallado como en el estudio de Córdova (2021), los resultados obtenidos en términos de rendimiento y precocidad sugieren que las formulaciones exitosas podrían contribuir significativamente a la seguridad alimentaria de la comunidad, al proporcionar una fuente accesible de proteínas y otros nutrientes. La formulación F11, que resultó ser la más equilibrada en términos de rendimiento, precocidad y disponibilidad de residuos, representa un avance importante para la implementación práctica de esta tecnología a nivel comunitario.

7.0. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

De acuerdo con la evaluación de la producción de *Pleurotus ostreatus* a partir de residuos de café se concluye que efectivamente se constituye como una alternativa de valorización agroecológica en la comunidad de Shucush, Amazonas, puesto que algunas de las formulaciones de sustrato estudiadas generaron buenos resultados respecto a su rendimiento y precocidad. Tras el análisis de los datos obtenidos y según los objetivos específicos establecidos, se presenta lo siguiente:

Conforme al Objetivo 1, se concluye:

Se identificaron tres residuos sólidos orgánicos derivados del ciclo del café que pueden ser empleados como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus*: pulpa de café, cascarilla y concho o borra. Estos residuos presentan diferentes composiciones químicas y disponibilidades, lo que influye en su potencial como sustrato; sin embargo, estos se encuentran presentes en la dinámica del ciclo productivo del café en la comunidad de Shucush.

Conforme al Objetivo 2, se concluye:

El rendimiento alcanzado en la producción de *P. ostreatus* varía significativamente según la formulación del sustrato. La formulación F03, compuesta por 100% de concho, mostró el rendimiento más alto (19.73%), seguida por F08 (15.1%) y F11 (14.35%). Estas diferencias son estadísticamente significativas ($p < 0.05$), lo que demuestra que las distintas formulaciones de sustrato a base de residuos de café tienen un impacto significativo en el rendimiento biológico de *P. ostreatus*.

Conforme al Objetivo 3, se concluye:

Las formulaciones más eficientes para implementar el cultivo de *P. ostreatus* como alternativa de valorización agroecológica son, en ese orden:

- F03 (100% concho) para máximo rendimiento, con 19.73% de rendimiento y 17 días de precocidad.
- F08 (25% pulpa, 75% concho) para un balance óptimo entre rendimiento y precocidad, con un 15.1% de rendimiento y un tiempo de

precocidad de 14 días.

- F11 (25% pulpa, 50% cascarillas, 25% concho) para una rápida producción, con rendimiento promedio de 14.35% y 15 días de precocidad, teniendo en cuenta la disponibilidad de los residuos.

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios adicionales para profundizar en la comprensión de los factores específicos que contribuyen al éxito de las formulaciones más eficientes, así como considerar aspectos prácticos como la disponibilidad de materiales y los costos de producción en el contexto local de la comunidad de Shucush. Esta información será fundamental para desarrollar estrategias de producción sostenibles y económicamente viables.

Asimismo, se recomienda realizar mayor investigación en los pretratamientos de los residuos para conformación de sustrato ya sea que mejoren sus propiedades fisicoquímicas o su desinfección, para evitar factores negativos que afecten el crecimiento del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Asimismo, se recomienda considerar las condiciones controladas para futuras investigaciones, tales como la humedad, luminosidad y temperatura, factores que pueden explicar de mejor manera algunos resultados si se desea establecer un cultivo de hongos ostra a mayor escala.

Además, al momento de trabajar con seres vivos, es importante determinar la taxonomía específica propia de cada especie y variedad, debido a que pueden existir variaciones significativas entre variedades. Por ello, se recomienda tener en consideración las técnicas de identificación molecular y las nuevas técnicas de biotecnología para determinar con exactitud las características de los organismos involucrados en investigaciones futuras.

Por último, es importante destacar que el desarrollo de tecnologías limpias y la superación de los nuevos desafíos ambientales dependen estrechamente del compromiso social. En este sentido, se recomienda fortalecer la educación ambiental de las comunidades, ya que es una herramienta clave para avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible, promoviendo una sociedad más consciente y responsable con su entorno.

8.0. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adebayo, E., Oloke J., Majolagbe O., Ajani R. y Bora T. (2012). Antimicrobial and antiinflammatory potential of polysaccharide from *Pleurotus Pulmonarius* LAU 09. *Afr.J Microbiol. Res.* 6 (13): 3315 – 3323.
- Aguilar-Pumahuillca, F., Huamán-Huamán, H. y Holgado-Rojas, M. (2019). Caracterización de *Pleurotus* sp. aislado de la comunidad nativa de Korimani, centro poblado de Kiteni-Echarate, la Convención, Cusco, Perú. *Ecología aplicada*, 18(1), 45-50.
- Aiello-Mazzarri, C., Salazar, Y., Urribarrí, A., Arenas-Dávila, E., Sánchez-Fuentes, J. y Ysambertt, F. (2019). Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H₂SO₄ y transesterificación con KOH. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 53-66. <https://doi.org/10.18359/rcin.2899>
- Aldana, A. (2000). *Comparación de la eficiencia de producción de Inóculo primario del hongo comestible Pleurotus ostreatus capa ECS 0110, en cinco granos*. [Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Agronomía – Instituto de Investigaciones Agronómicas – Guatemala]
- Alemán, S., Castillo, F., González, C. y Herrera, R. (2019). Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (77), 73-79. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7163188>
- Alexopoulos, C., Mims, C. y Blackwell, M. (1996). *Introductory Mycology*. Wiley.
- Altieri, M. y Nichols, C. (2000). *Agroecología, teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente PNUMA - Red de formación ambiental para América Latina y el Caribe. México D.F.
- Angulo, F., Mamani, B y 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), 10-18.

- Arabo, C. (2021). Etapas del proceso de producción del café | Café arabo. Café Arabo. Recuperado el 18 de septiembre del 2023 de <https://cafe-arabo.com/etapas-proceso-produccion-cafe/>
- Arcila, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. Sistemas de producción de café en Colombia. Cenicafe, Chinchina, Colombia, 21-60. <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>
- Arcila, J. y Jaramillo, A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto.). https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4321/1/cenbook-0026_08.pdf
- Ardila, V. (2023). Impactos ambientales generados en la producción de café pergamino seco.
- Ardón, C. (2007). *La producción de los hongos comestibles*. Tesis Mg Ed. Guatemala. USCG. 207p.
- Ayala, L. (2021). Impacto ambiental generado por los cultivos de café de la finca santa rosa de El Socorro Santander. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/22386>
- Bermúdez, R., Traba, J., Verdecia, M. y Gross, P. (1994). Producción de *Pleurotus* sp. Sobre residuales de la industria cafetera en Cuba. *Micol. Neotrop. Apl.* 7: 47-50
- Bermúdez-Savón, R., García-Oduardo, N. y Serrano-Alberni, M. (2013). Una tecnología sostenible, aporte a la seguridad alimentaria. *Tecnología Química*, 33(2), 181-192.
- Blackwell, M. (2011). The Fungi: 1, 2, 3... 5.1 million species?. *American journal of botany*, 98(3), 426-438.
- Blandón-Castaño, G., Dávila-Arias, M. y Rodríguez-Valencia, N. (1999). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé*, 50(1), 5-23. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(01\)005-023.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(01)005-023.pdf)
- Bobovčák, M., Kuniaková, R., Gabriž, J. y Majtán J. Effect of Pleuran (β -glucan from *Pleurotus ostreatus*) supplementation on cellular immune response after intensive exercise in elite athletes. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2010 Dec;35(6):755-62. doi: 10.1139/H10-070.

- Business Research Insights. (2023). *Pleurotus ostreatus* Market Report 2031. Recuperado el 23 de agosto del 2024 de <https://www.businessresearchinsights.com/es/market-reports/pleurotus-ostreatus-market-100739>
- Calle, H. (1977). *Subproductos del café. Colombia*. <http://hdl.handle.net/10778/806>
- Cámara de Café y Cacao. (s. f.). Café peruano - Estadísticas. Recuperado 3 de abril de 2024, de <https://camcafeperu.com.pe/ES/cafe-peruano-estadisticas.php>
- Cárdenas, Y. (2015). Efecto de sustratos a base de residuos agrícolas, en el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* «Jacquin Fries» Kummer, distrito de Santa Ana, La Convención [Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/3893>
- Chang, S. (1998). Mushroom and mushroom biology. Hong Kong. Chang, S.H; J.A Buswell & P.G. Miles (Eds). Genetics and Breeding of Edible Mushrooms, Gordon & Breach Science Publishers Amsterdam. 1- 13.
- Chaparro, S. y Buenahora, E. (2013). Identificación del manejo de subproductos del beneficio del café en las fincas localizadas en la parte alta de la microcuenca La Sancoeta, Vereda Alto de Reinas, Socorro-Santander. El Centauro, 5(8), 19-30. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/centauro/article/view/2359>
- Chin, K., H'ng, P., Chai, E., Khoo, P., Lee, C. y Go, W. (2019). Valorization of Lignocellulosic Food Industry Waste in Malaysia by Accelerated Co-composting Method: Changes in Physicochemical and Microbial Community. *Waste And Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00825-4>
- Ciappini, M., Gatti, B. y Zamora, M. (2004). *Pleurotus ostreatus*, una opción en el menú. estudio sobre las gírgolas en la dieta diaria. Invenio, 7(12), 127-132. <https://www.redalyc.org/pdf/877/87701211.pdf>
- Clavijo, K. (2018). Evaluación de los impactos ambientales generados en los procesos de producción del café en las fincas campo alegre, el clavelito y mi tesoro de la vereda alto de reinas y el triunfo de la vereda la culebra

del municipio del Socorro Santander.
<http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/19999>

- Córdova, M. (2021). *Productividad del hongo comestible Pleurotus ostreatus en sustrato de café y determinación del valor nutricional*. [Tesis para optar el Título de Licenciada en Nutrición, Universidad Peruana Cayetano Heredia] <https://hdl.handle.net/20.500.12866/9066>
- Corpas, C. y Basallote, M. (2002). "Ausencia de florada en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*". Phytoma España, 143 Noviembre 2002: 34-39.
- Corrêa, R., Brugnari, T., Bracht, A., Peralta, R. y Ferreira, I. (2016). Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp.(Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings. Trends in Food Science & Technology, 50, 103-117.
- Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos del MINAM. (2020). Indicadores RRSS Año 2019. Recuperado el 28 de agosto del 2024. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNDU4MjJkZTgtOTIwMy00OTRiLTgxNzctZDIhMzZkYzk1ZjE4IiwidCI6IjBIMmFiZjRILWExZjUtNDZiZi1iOWE0LWM5YWE2ZGQ1NTE4MCJ9&pageName=ReportSection>
- Duque, H., Posada, H. y Alvarado, G. (2005). Análisis económico de la adopción de las variedades Castillo R regionales resistentes a la roya. <http://hdl.handle.net/10778/225>
- El-Fakharany, E., Haroun B., Ng T. y Redwan E. (2010) Oyster mushroom laccase inhibits hepatitis C virus entry into peripheral blood cells and hepatoma cells. Protein and Peptide Letters, 17: 1031–1039. Park Y.S., Lee H.S., Won M.H., Lee J.H., Lee S.Y., Lee H.Y. (2002) Effect of an exo-polysaccharide from the culture broth of *Hericium erinaceus* on enhancement of growth and differentiation of rat adrenal nerve cells. Cytotechnology, 39: 155–162.
- Fernández, C. (2001). Las Buenas Prácticas Agrarias y el Medio Ambiente. Cuaderno para talleres de buenas prácticas agrarias. Unión de Agricultores y Ganaderos de Navarra. (p. 32).
- Fernández, F. (2004). Guía Práctica de Producción de Setas (*Pleurotus* Spp.). Fungitec Asesorías.

- Fernández, P., Haza, A. y Morales, P. (2020). Propiedades funcionales de hongos comestibles. *Agro sur*, 48(1), 11-24.
- Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. y Vargas-Marín, L. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción+ limpia*, 15(1), 93-110.
- Garavito, A. y Puerta, G. I. (1998). Utilización del mucílago de café en la alimentación de cerdos. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <http://hdl.handle.net/10778/554>
- García Rollan, M. (1985). Nuevas técnicas de cultivo del *Pleurotus ostreatus*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1985_08.pdf
- García Rollan, M., 1987. Cultivo de setas y trufas. Edit Mundi-Prensa, Madrid. 203 pp.
- García, N. (2008). Producción de setas comestibles y enzimas lacasas por fermentación en estado sólido de la pulpa de café con *Pleurotus* spp. [Universidad de Oriente]. https://www.imbe.fr/IMG/pdf/re-27_2008_doctorat_nora_garcia_oduardo.pdf
- García, R. y Olaya, É. (2006). Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector agroindustrial del café. Cuadernos de administración, 19(31), 197-217.
- García-Oduardo, N., Bermúdez-Savón, R. C. y Serrano-Alberni, M. (2011). Formulaciones de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. *Tecnología Química*, 31, 272–282. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852011000300002&script=sci_arttext&tlng=en
- García-Vergara, Z., Paneque-Díaz, Y., Macías-González, A., y Rodríguez-Guerrero, D. (2022). Comparación de las propiedades antioxidantes del *Pleurotus ostreatus* antes y después de tratamientos térmicos. *Revista Científica Arbitrada de Investigación en Comunicación, Marketing y Empresa REICOMUNICAR*. ISSN 2737-6354., 5(9), 221-232. <https://doi.org/10.46296/rc.v5i9.0045>

- Garzón, J. y Cuervo, J. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. NOVA - Publicación Científica EN CIENCIAS BIOMÉDICAS, 101–236. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/113/224>
- GBIF Backbone Taxonomy Secretariat (2023). *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm. in GBIF .Recuperado vía GBIF.org el 26 de marzo del 2024 de <https://doi.org/10.15468/39omei>
- Gliessman, S. (1998). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Boca Ratón, Florida. EE.UU.: Lewis/CRC Press.
- Gómez, A., Klose, W., Rincón, S. y Wiest, W. (2004). Transformación termoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma: tecnologías y perspectivas. Palmas, 25(especial,), 388-397. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq13118.pdf>
- Gómez-Anaya, J., Novelo-Gutiérrez, R. y Astudillo-Aldana, M. (2017). Efecto de las descargas domésticas y de beneficio de café sobre la calidad del agua y la diversidad de larvas de Odonata (Insecta) en un arroyo de bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 88(2), 372-380. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.004>
- Guardia, Y. (2012). Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del café (Doctoral dissertation, Agronomos).
- Guhl, A. (2009). Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. *Revista de estudios sociales*, (32), 114-125.
- Guzmán, D., Herrera, J., Fuentes, E. y Hernández, A. (2019). Evaluación del crecimiento y producción del hongo ostra *Pleurotus ostreatus* bajo condiciones artesanales utilizando restos de cosecha en el municipio de Camotán, Chiquimula, Guatemala. *Revista Tikalia*, 37, 24–40.
- Guzmán, G. (1998). "Taxonomía de los hongos". *Revista Mexicana de Micología*.
- Hawksworth, D. (2001). The magnitude of fungal diversity: the 1· 5 million species estimate revisited. *Mycological research*, 105(12), 1422-1432.
- Herrera, C. y Ulloa, M. (1990). "Hongos simbióticos". *Ecología*. <https://repositorio.uniautonoma.edu.co/bitstream/handle/123456789/306/T%20IA-M%20065%202018.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

- Iacobellis, N. y Lo Cantore, P. (1997). "Bacterial diseases of cultivated mushrooms in southern Italy" 10 th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union. June 1st-5th, 1997- Montpellier- Le Corum (France) Société Française de Phytopathologie. pp. 33-37.
- Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., y Del Castillo, M. (2020). Applications of compounds from coffee processing by-products. *Biomolecules*, 10(9), 1219. <https://www.mdpi.com/2218-273X/10/9/1219>
- Job, D. (2004). La utilización de la borra del café como sustrato de base para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer. *Revista Iberoamericana de Micología*, 21, 195–197. <http://reviberoammicol.com/2004-21/195197.pdf>
- Kalmis, E. y Sargin, S. (2004). Cultivation of two *Pleurotus* species on wheat straw substrates containing olive mill waste water. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53(1), 43-47.
- Khan, M. y Tania, M. (2012). Nutritional and medicinal importance of *Pleurotus* mushrooms: an overview. *Food Reviews International*, 28(3), 313-329.
- Kusumocahyo, S., Wijaya, S., Dewi, A., Rahmawati, D. y Widi Putri, D. (2020). Optimization of the extraction process of coffee pulp as a source of antioxidant. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 443, No. 1, p. 012052). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/443/1/012052/meta>
- Leyva, F. y Livias, M. (2019). Estrategia para minimizar el impacto ambiental del cultivo de café (*Coffea arabica* L, var. Catimor) mediante el análisis de su ciclo de vida – Huánuco 2019. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/50988>
- López, A. y Alvarado, J. (1994). El valor nutritivo de los hongos México. *Notas Técnicas 15*. Universidad Veracruzana. Centro de Genética Forestal.
- López, D. (2014). Composición química y nutraceutica del residuo sólido del café (*coffea arabica* l) utilizado y la actividad de los productos de su fermentación colónica in vitro en un modelo de inflamación. Querétaro.
- López-Rodríguez, C., Hernández-Corredor, R., Suárez-Franco, C. y Borrero, M. (2008). Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*, 13(2), 128-137.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-74832008000200004&script=sci_arttext

- Lourenço, E. (2022). Caracterização do Substrato Exaurido do Cultivo de *Pleurotus ostreatus* composto por Borra de Café e Gramíneas e Avaliação do Potencial Bioquímico de Metano (Bachelor's thesis). <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/6682>
- Macip-Ríos, R., López-Alcaide, S. y Muñoz-Alonso, A. (2013). Abundancia, uso de hábitat, microhábitat y hora de actividad de Ameiva undulata (Squamata: Teiidae) en un paisaje fragmentado del Soconusco chiapaneco. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(2), 622-629. <https://doi.org/10.7550/rmb.31752>
- Maldonado, Y. (2007). Obtención de cepas híbridas de *Pleurotus* spp. por apareamiento de neohaplontes compatibles [Instituto Politécnico Nacional].
- Manals-Cutiño, E. M., Salas-Tort, D., & Penedo-Medina, M. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal cascarilla de café. *Tecnología química*, 38(1), 169-181. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n1/rtq13118.pdf>
- Marco, O. y Reyes, R. (2003). Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *INCI*, 28(5), 252–259.
- Martínez-Carrera, D., Aguilar, A., Martínez, W., Bonilla, M., Morales, P. y Sobal, M. (2000). Commercial production and marketing of edible mushrooms cultivated on coffee pulp in Mexico. In *Coffee Biotechnology and Quality: Proceedings of the 3rd International Seminar on Biotechnology in the Coffee Agro-Industry*, Londrina, Brazil (pp. 471-488). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Méndez, E. y Gliessman, S. (2002). Un enfoque interdisciplinario para la investigación en agroecología y desarrollo rural en el trópico latinoamericano. En *manejo integrado de plagas y agroecología* No 64. Costa Rica. p5-16.
- Mendoza, H. (2020). Análisis de la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* obtenida a partir de los subproductos de la etapa de despulpado del café [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4379>

- Monje, J. (2011). La agroecología: un marco de referencia para entender sus procesos en la investigación y la praxis. *Luna Azul*, (32), 128-134.
- Muñoz, E. (2017). Comparativo de dos sustratos y cuatro paquetes tecnológicos utilizados en la producción comercial de *Pleurotus ostreatus*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Narváez, M. y Villota, L. (2018). Caracterización Fisicoquímica de la Borra de Café Proveniente de la Hacienda Supracafé en el Municipio de Cajibío, Departamento del Cauca. Repositorio U, Popayán.
- Nieto-Juárez, J., Cuzcano-Ruiz, Á. y Reyes-López, W. (2019). Estudio preliminar de la composición nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en pulpa de café. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 422-431. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.256>
- Nieto-Juárez, J., Cuzcano-Ruiz, Á. y Reyes-López, W. (2021). Evaluación del cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* y de su composición nutricional en Borra de Café. *Tecnia*, 31(2), 27-32. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1026>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1983). El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. <http://www.fao.org/3/ar127s/ar127s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). Bioenergía y seguridad alimentaria “BEFS” El análisis BEFS para el Perú (E. Félix & C. Rosell (eds.); Volumen I). <http://www.fao.org/3/i1712s/i1712s.pdf>
- Organización Internacional del Café. (2023) Coffee Report and Outlook. (Diciembre 2023). Recuperado 9 de enero de 2024, de https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf
- Ortiz de Mendivil, E. (2010). El consumo sostenible como perspectiva innovadora. Eumed. net. https://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/elibros_internet/55728.pdf
- Ortiz, A. (2020). Propuesta gastronómica para el manejo del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) para su utilización en la cocina, Riobamba 2019.

- Ortiz, F. y Muñoz, M. (2014). Control sanitario del cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera*, 1-14.
- Pauli, G. (2022). CAS 3: Coffee : Export crop provides food security. The Blue Economy. <https://www.theblueeconomy.org/en/cas-3-coffee-export-crop-provides-food-security/>
- Polo, Y. (2013). Análisis de factibilidad técnica, ambiental y financiera para la producción y comercialización de café sostenible por el grupo asociativo Robles del Macizo-corregimiento de Bruselas (Pitalito, Huila).
- Potter, N. (1995). Ciencia de los alimentos. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A
- Ramírez, A. (2009). Estudio de las propiedades bioactivas de hongos comestibles para el diseño de productos cárnicos funcionales [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Restrepo, J., Ángel, D., y Prager, M. (2000). Actualización profesional en manejo de recursos naturales, agricultura sostenible y pobreza rural. Santo Domingo, República Dominicana. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF).
- Rodríguez, N. y Jaramillo, C. (2004). "Cultivo de Hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetalera", Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, CENICAFE.
- Rodríguez, S., Fernández, M., Bermúdez, R. y Morris, H. (2003). Tratamiento de efluentes industriales coloreados con *Pleurotus* spp. *Revista Iberoamericana de Micología*, 20(4), 164-168.
- Rojas, J. (2016). Producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
- Salazar, H. (2013). Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental de la producción de café en Colombia. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/1084>
- Sánchez, Á., Ulloa, K. y Marques, R. (2012). El impacto de la producción de café sobre la biodiversidad, la transformación del paisaje y las especies exóticas invasoras. *Ambiente y Desarrollo*, 16(30), 93-104.
- Sánchez, J. (1994). Producción de hongos comestibles. México, Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste.

- Sánchez, J. y Royse, D. (2002). La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). *Chiapas, México, DF, MX, Editorial Limusa, SA*, 142.
- Seoáñez, M. (1998). Medio Ambiente y Desarrollo. Manual de Gestión de los Recursos en Función del Medio Ambiente.
- Sepúlveda, C. (2020) Capítulo 5. Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos (cascarilla de café y cáscara de plátano), para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Germinando semillas para la investigación. Una estrategia de futuro en Risaralda, 377.
- Serna-Jiménez, J., Torres-Valenzuela, L., Martínez-Cortínez, K. y Hernández-Sandoval, M. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista Ion*, 31(1), 37-42. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>
- Sevilla, Eduardo (2006). De la sociología rural a la agroecología. Barcelona España: Icaria Editores.
- Síaz, A., Gutiérrez, A., Rodríguez, P y Fonseca, D. (2024). Producción de un material biocompuesto a base de micelio por medio de fermentación sólida usando *Pleurotus ostreatus*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v22.n2.2024.2334>
- Sistema Nacional de Información Ambiental - SINIA. (2021). Sistema Nacional de Información Ambiental - Estadísticas. <https://sinia.minam.gob.pe>
- Sotomayor, A. y Power, G. (2019). Tecnologías limpias y medio ambiente en el sector industrial peruano. Fondo editorial Universidad de Lima.
- Stamets, P. (1983). The mushroom cultivator: A practical guide to growing mushroom at home. Washington. 374 p.
- Taboada, M. (2011). Sustratos agroindustriales como fuentes para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Qué). [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/941>
- Torres, F. (2020). Evaluación del Potencial Energético de los Desechos Generados en el Procesamiento del Café en Honduras. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10629.37602>

- Urrego, W. y Godoy, M. (2021). La Revisión-Aprovechamiento de los residuos de la agroindustria del café en la elaboración de materiales compuestos de matriz polimérica. *Prospectiva*, 19(2).
- Valverde, M., Hernández-Pérez, T. y Paredes-López, O. (2015). Edible Mushrooms: Improving Human Health and Promoting Quality Life. *International Journal Of Microbiology*, 2015, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2015/376387>
- Vargas, J. y Aguilar, K. (2023). Aprovechamiento de la pulpa de café para la producción de hongos *Pleurotus ostreatus* en mezclas con otros subproductos agrícolas como aserrín de madera y bagazo de caña. <https://hdl.handle.net/10901/25275>
- Verdugo, Y. (2020). Manejo de los subproductos del beneficio de café en diez fincas de la vereda alto de reinas, el socorro-Santander. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/19545>
- Wasser, S. (2011). Current findings, future trends, and unsolved problems in studies of medicinal mushrooms. *Applied microbiology and biotechnology*, 89, 1323-1332.
- Zaragoza, A. (2011). Análisis de los compuestos fenólicos de los hongos comestibles huitlacoche (*Ustilago maydis*) y setas (*Pleurotus ostreatus*) y evaluación de algunas de sus posibles propiedades nutraceuticas. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes. <https://doi.org/10.46296/rc.v5i9.0045>