



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*)  
UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ  
(*Arachis hypogaea* Lineau)**

**Lisbeth Teresa Flores Ramirez**

Asesorado por el Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
y coasesorado por el Lic. Roberto Agustín Cáceres Staackmann

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*)  
UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ  
(*Arachis hypogaea* Lineau)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LISBETH TERESA FLORES RAMIREZ**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS SALVADOR WONG DAVI  
Y COASESORADO POR EL LIC. ROBERTO AGUSTÍN CÁCERES  
STAACKMANN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

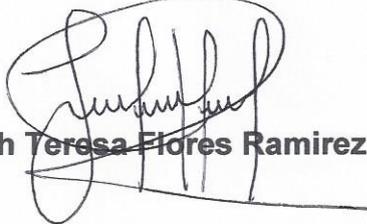
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Juan Pablo Argueta Elías
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*)  
UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ  
(*Arachis hypogaea* Lineau)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de noviembre de 2016.

  
**Lisbeth Teresa Flores Ramirez**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, octubre de 2018

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he asesorado, revisado y dado mi aprobación al trabajo de graduación titulado "PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ (*Arachis hypogaea Lineau*)", de la estudiante de Ingeniería Química Lisbeth Teresa Flores Ramirez quien se identifica con el número de registro académico 2009 41434 y código único de identificación 224874640 0101.

Sin otro particular, me suscribo a usted.

Atentamente,

Ing. Carlos Salvador Wong

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
COLEGIADO. No. 561

Guatemala, octubre de 2018

Ingeniero

Carlos Salvador Wong

Director Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he asesorado, revisado y dado mi aprobación al trabajo de graduación titulado "PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ (*Arachis hypogaea* Lineau)", de la estudiante de Ingeniería Química Lisbeth Teresa Flores Ramirez quien se identifica con el número de registro académico 2009 41434 y código único de identificación 224874640 0101.

Sin otro particular, me suscribo a usted.

Atentamente,



Lic. Roberto Agustín Cáceres Staackmann

Lic. Roberto Cáceres Staackmann  
Químico Biólogo  
Colegiado No. 3770



Guatemala, 16 de noviembre de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.059.2018.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **058-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN  
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Lisbeth Teresa Flores Ramirez**.  
Identificada con número de carné: **2248 74640 0101**.  
Identificada con registro académico: **2009-41434**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*)  
UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ  
(*Arachis hypogaea* Lineau)**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el ingeniero Químico: **Carlos Salvador Wong Davi**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.



"ID Y ENSEÑANZA A TODOS"

Licda. Ingrid Lorena Benitez Pacheco  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.022.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LISBETH TERESA FLORES RAMIREZ** titulado: **“PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ (*Arachis hypogaea Lineau*)”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*“Id y Enseñad a Todos”*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, marzo 2019

**FACULTAD DE INGENIERIA USAC**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DIRECTOR**

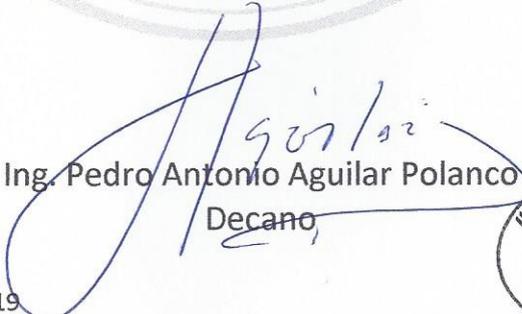
Cc: Archivo  
CSWD/ale



DTG. 155.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **PRODUCCIÓN Y SECADO DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) UTILIZANDO COMO SUSTRATO LOS DESECHOS DE LA CÁSCARA DE MANÍ (*Arachis hypogaea* Lineau)**, presentado la estudiante universitaria: **Lisbeth Teresa Flores Ramirez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, marzo de 2019



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por tu infinito amor, gracia y misericordia con la que me has cuidado cada día de mi vida. Por darme la sabiduría, la inteligencia, la fuerza y las herramientas necesarias para alcanzar mis metas.
- Mis padres** Héctor Flores y Teresa Ramírez, por su ejemplo, cuidado, disciplina, responsabilidad y esfuerzo. Por su amor incondicional, por apoyarme y consentirme. Este triunfo es para ustedes, siempre serán mi inspiración. Los amo.
- Mis hermanos** Roberto, Paula y Estuardo Flores, por ser mi ejemplo en la vida. Por estar cuando los necesito, por su cuidado, su amor y sus consejos.
- Mis amigos de la Facultad** Porque con su cariño y apoyo han hecho de mis años universitarios los mejores. Gracias por su amistad y compañía.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme sus puertas y ser mi casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por enseñarme que con perseverancia y esfuerzo todo es posible.
<b>Ing. Carlos Wong</b>	Por su apoyo y por compartirme sus conocimientos en la realización de mi trabajo de graduación.
<b>Lic. Roberto Cáceres</b>	Por su tiempo, paciencia, apoyo y por compartirme sus conocimientos durante el desarrollo de mi trabajo de graduación.
<b>CEMA-USAC</b>	Por permitirme realizar la parte experimental de mi trabajo de graduación en sus instalaciones.
<b>Paula Flores</b>	Gracias por todo lo que haces por mí, eres mi apoyo más grande, una enorme bendición. Gracias por tu amor y tú cuidado hermanita. Sin ti esto no sería posible. Te amo.
<b>Mis sobrinos</b>	Karla, Daniela, Briseida y Diego Flores, por inspirarme a ser mejor persona. Los quiero.

**Mis amigos**

María García, Tania Arriaza, Natalia Valdés, Ana Valdés, Wilson Félix, Manuel Fletes, German Salguero, Rony Chojolan, Jorge Morataya, Masha y Jr. Flores, por su cariño, alegría, apoyo y consejos. Son importantes para mí.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis .....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Residuos.....	3
2.2. Residuos de la agroindustria .....	3
2.2.1. Composición química de los residuos de la agroindustria.....	4
2.2.1.1. Celulosa.....	4
2.2.1.2. Hemicelulosa .....	4
2.2.1.3. Lignina .....	5
2.3. Características generales del maní .....	5
2.3.1. Taxonomía.....	5
2.3.2. Morfología del maní .....	5
2.4. Cáscara de maní .....	8
2.4.1. Composición química de la cáscara de maní .....	8
2.4.2. Usos de la cáscara de maní .....	9
2.5. Medios de cultivo en estado sólido.....	10

2.5.1.	Fermentación en estado sólido .....	10
2.5.2.	Variables que condicionan los cultivos en estado sólido .....	10
2.5.2.1.	Contenido de humedad del sustrato .....	11
2.5.2.2.	Temperatura .....	11
2.5.2.3.	Aeración y agitación .....	12
2.5.2.4.	pH .....	12
2.6.	Sustratos .....	12
2.6.1.	Propiedades físicas y químicas de los sustratos .....	13
2.6.1.1.	Peso específico aparente .....	13
2.6.1.2.	Granulometría .....	13
2.6.1.3.	Porosidad y densidad aparente seca ...	13
2.6.2.	Relación carbono nitrógeno .....	14
2.6.3.	Criterios para seleccionar un sustrato .....	14
2.6.4.	Ventajas de utilizar sustratos .....	15
2.7.	Hongos .....	15
2.8.	<i>Pleurotus ostreatus</i> .....	16
2.8.1.	Taxonomía .....	16
2.8.2.	Generalidades del hongo <i>Pleurotus</i> .....	17
2.8.3.	Estructura <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	17
2.8.4.	Toxicidad del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	18
2.8.5.	Aportes nutricionales del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	19
2.8.6.	Medio de cultivo y preparación del inóculo para <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	20
2.8.7.	Producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	21
2.8.7.1.	Preparación de sustratos para producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	21

	2.8.7.2.	Enriquecimiento del sustrato para producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	21
	2.8.7.3.	Siembra e incubación para producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	22
	2.8.7.4.	Fructificación de <i>Pleurotus ostreatus</i> ...	22
2.9.		Eficiencia biológica .....	23
2.10.		Consumo y comercialización .....	23
2.11.		Recolección y reciclado del sustrato poscultivo.....	24
2.12.		Compostaje .....	25
	2.12.1.	Conceptos y generalidades .....	25
	2.12.2.	Principio del compostaje .....	25
	2.12.3.	Parámetros de manejo del compostaje .....	26
	2.12.4.	Principios microbiológicos y bioquímicos del proceso del compostaje .....	26
	2.12.5.	Transferencia de masa y energía .....	28
	2.12.6.	Técnicas para elaborar compost natural.....	29
	2.12.6.1.	Sistema abierto o en pila .....	30
	2.12.6.2.	Sistema cerrado o en recipiente .....	30
		2.12.6.2.1. Método para realizar compostaje en sistema cerrado .....	30
	2.12.7.	Utilización del compost .....	32
2.13.		Secado .....	32
	2.13.1.	Clasificación de los secadores.....	33
	2.13.2.	Transferencia de calor en los secadores .....	33
	2.13.3.	Objetivos del secado de alimentos .....	34
	2.13.3.1.	Alimentos postsecado.....	34

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
3.1.	Variables .....	37
3.1.1.	Dependientes .....	37
3.1.2.	Independientes.....	37
3.1.3.	Variable respuesta .....	37
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	37
3.2.1.	Lugar de experimentación .....	38
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	38
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	38
3.4.1.	Materia prima .....	38
3.4.2.	Equipo personal .....	38
3.4.3.	Cristalería y equipo .....	39
3.5.	Técnica.....	39
3.5.1.	Técnica cuantitativa.....	39
3.5.2.	Técnica cualitativa.....	40
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	40
3.6.1.	Método para la recolección de materia prima.....	40
3.6.2.	Procedimiento .....	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	44
3.8.	Análisis estadístico.....	45
3.8.1.	Plan de análisis de los resultados .....	46
3.8.1.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables .....	46
3.8.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	48
4.	RESULTADOS.....	49
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	57

CONCLUSIONES .....	63
RECOMENDACIONES .....	65
BIBLIOGRAFÍA.....	67
APÉNDICES .....	73
ANEXOS .....	83



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura de la planta de maní .....	7
2.	Diferentes tamaños y formas de la cáscara de maní .....	7
3.	Estructura del <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	18
4.	Reacción general de un proceso de compostaje .....	27
5.	Balance general del proceso de compostaje.....	29
6.	Compostera vertical .....	32
7.	Clasificación del tamaño de los cuerpos fructíferos del <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	49
8.	Caracterización de la curva de la tasa de crecimiento del <i>Pleurotus ostreatus</i> sobre el sustrato de cáscara de maní y salvado de arroz ....	50
9.	Caracterización de la curva de la tasa de crecimiento del <i>Pleurotus ostreatus</i> sobre el sustrato de cáscara de maní y harina de soya .....	51
10.	Caracterización de la curva de la tasa de crecimiento del <i>Pleurotus ostreatus</i> sobre el sustrato de pulpa de café.....	52
11.	Características de la biomasa del <i>Pleurotus ostreatus</i> , producida sobre sustrato de cáscara de maní y salvado de arroz, antes y después del proceso de secado.....	53
12.	Características de la biomasa del <i>Pleurotus ostreatus</i> , producida sobre sustrato de cáscara de maní y harina de soya, antes y después del proceso de secado.....	54
13.	Características de la biomasa del <i>Pleurotus ostreatus</i> , producida sobre sustrato de pulpa de café, antes y después del proceso de secado.....	55

## TABLAS

I.	Composición química de la cáscara de maní propuesta por Yeboah .....	8
II.	Composición química de la cáscara de maní propuesta por Woodroof .....	9
III.	Parámetros y contenido del sustrato poscultivo para <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	24
IV.	Evaluación de la eficiencia biológica.....	42
V.	Clasificación de diámetro del píleo .....	43
VI.	Crecimiento de cuerpos en función del tiempo .....	43
VII.	Observaciones del cuerpo fructífero en condiciones secas y húmedas .....	43
VIII.	Parámetros del compost obtenido a partir del post sustrato .....	44
IX.	Cuantificación de la productividad del <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	49
X.	Evaluación de las características de la biomasa del <i>Pleurotus ostreatus</i> , producida sobre sustrato de cáscara de maní y salvado de arroz, posterior al proceso de secado.....	53
XI.	Evaluación de las características de la biomasa del <i>Pleurotus ostreatus</i> , producida sobre sustrato de cáscara de maní y harina de soya, posterior al proceso de secado .....	54
XII.	Evaluación de las características de la biomasa del <i>Pleurotus ostreatus</i> , producida sobre sustrato de pulpa de café, posterior al proceso de secado.....	55
XIII.	Características físicas y químicas obtenidas del proceso de compostaje .....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
$R^2$	Coeficiente de correlación
°C	Grado centígrado
g	Gramos
$G_1$	Grupo de diámetro 1 (cm)
$G_2$	Grupo de diámetro 2 (cm)
$G_3$	Grupo de diámetro 3 (cm)
>	Mayor que
$\geq$	Mayor o igual que
<	Menor que
$\leq$	Menor o igual que
$\bar{X}$	Media aritmética
$H_2O$	Molécula de agua
$NH_3$	Molécula de amoníaco
$CO_2$	Molécula de dióxido de carbono
$O_2$	Molécula de oxígeno
n	Número de muestras
$P_f$	Peso de los cuerpos fructíferos (g)
$P_s$	Peso de los sustratos en estado seco (g)
%	Porcentaje
%EB	Porcentaje de eficiencia biológica
C/N	Relación carbono/ nitrógeno
s	Variación del sustrato empleado



## GLOSARIO

<b>Aerobios-aeróbicos</b>	Refiere a un proceso u organismo que requiere oxígeno para desarrollarse o vivir, respectivamente.
<b>Biodegradable</b>	Que puede descomponerse en elementos químicos naturales por la acción de agentes biológicos, como el sol, el agua, las bacterias, las plantas o los animales.
<b>Biomasa</b>	Totalidad de la materia de los organismos que habitan en un cierto lugar, que se expresa en peso por unidad de volumen o de área.
<b>Cepa</b>	En microbiología, conjunto de virus, bacterias u hongos que tienen el mismo patrimonio genético.
<b>Compost</b>	Materia orgánica biotransformada en condiciones aerobias por medio de <i>reacciones</i> del óxido, reducción catalizada por enzimas microbianas; el resultado es la mineralización, la producción de humus, dióxido de carbono y agua así como una fuente de calor.
<b>Compostaje</b>	Proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (abono orgánico) bajo el impacto de microorganismos.

<b>Eficiencia biológica</b>	Relación expresada en porcentaje, entre el peso de los cuerpos fructíferos producidos y el peso del sustrato como materia seca. Se considera como la bioconversión de energía y la degradación biótica del sustrato.
<b>Esterilización</b>	Proceso por el cual se obtiene un producto libre de microorganismos viables.
<b>Fermentación en estado sólido</b>	Crecimiento de microorganismos sobre soportes sólidos húmedos en ausencia de agua libre.
<b>Fructificación</b>	Etapas que inicia cuando el micelio ha crecido y se forma una masa de aspecto algodonosa que cubre la superficie del sustrato.
<b>Hifas</b>	Conjunto de fibras microscópicas que conforman el talo o cuerpo del hongo.
<b>Hongo</b>	Organismos diferentes a los del reino vegetal y animal. Pertenecen al reino fungi, poseen células eucarióticas y pared celular con quitina, son heterótrofos y carecen de clorofila. Se alimentan por absorción y que se propaga mediante esporas.
<b>Incubación</b>	Etapas de propagación del hongo, previa a las etapas de fructificación y de cosecha.

<b>Lixiviado</b>	En compostaje, corresponde al líquido residual generado por la descomposición de material biodegradable, que contiene también nutrientes solubles y algunos microorganismos.
<b>Micelio</b>	Conjunto de hifas vegetativas de los hongos. Atraviesan el sustrato para tomar de él su alimento.
<b>Microorganismo</b>	Organismo microscópico animal o vegetal.
<b>Píleo</b>	El sombrero del cuerpo fructífero, soportando la capa de esporas bajo su superficie.
<b>Reciclado</b>	Transformación de los residuos dentro de un sistema de producción en materia útil, para su fin inicial o para otros fines.
<b>Relación carbono nitrógeno</b>	Función de los requerimientos de cada uno de los elementos en sus rutas anabólicas.
<b>Residuo</b>	Materia que tentativamente no tiene utilidad ni valor agregado, por lo tanto, es desechada.
<b>Residuo biodegradable</b>	Residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse en condiciones aerobias o anaerobias.

<b>Secado</b>	Operación unitaria que consiste en retirar pequeñas cantidades de agua u otro líquido, con el objetivo de disminuir el contenido residual de líquido hasta el valor esperado.
<b>Sustrato</b>	Material sólido que desarrolla la función de soporte para el crecimiento y desarrollo de plantas; suministra agua, oxígeno y nutrientes.
<b>Vida anaquel</b>	Tiempo durante el cual el producto es consumible o utilizable, conservando las características sensoriales, beneficios y seguridad preestablecidos.

## RESUMEN

La investigación consistió en evaluar el crecimiento de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* utilizando como sustrato el residuo de la cáscara de maní, Variando su composición, empleando aditivos de salvado de arroz y harina de soya, tomando como referencia el sustrato de pulpa de café. Se consideraron como parámetros de control: humedad, temperatura e iluminación en cada etapa del proceso, desde la inoculación hasta la producción del cuerpo fructífero. Con la finalidad de aumentar la vida de anaquel del producto, se realizó el proceso de secado. Para crear un ciclo económico y ecológicamente sostenible, se realizó el proceso de compostaje de los residuos generados al finalizar el ciclo de producción.

Para cada variación de sustrato, se evaluó el porcentaje de eficiencia biológica. Así mismo, se midió el diámetro de los píleos producidos por la cepa de *Pleurotus ostreatus*; se caracterizaron las curvas de la tasa de producción del hongo en función del tiempo. Por último, se aplicó un proceso de secado no adiabático por convección a los cuerpos fructíferos, con la finalidad de retirar el exceso de humedad.

Se determinó que es posible la producción de hongos comestibles tipo ostra sobre el desecho de estudio. Además, se determinó que no hay diferencia significativa entre los sustratos evaluados; sin embargo, posterior al proceso de secado, los cuerpos fructíferos presentan variación significativa en sus características físicas, respecto a los cuerpos húmedos. Finalmente, se obtuvo compost a partir del sustrato postcultivo. Se recomienda considerar el manejo sostenible del residuo de la cáscara de maní.



## OBJETIVOS

### General

Elaborar un sustrato a partir de la cáscara de maní (*Arachis hypogaea* Lineau) para el crecimiento de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*).

### Específicos

1. Determinar la productividad del *Pleurotus ostreatus* sobre dos sustratos a través de la cuantificación de la eficiencia biológica.
2. Clasificar por tamaño los cuerpos fructíferos producidos, a través de la cuantificación del diámetro de los píleos del *Pleurotus ostreatus*.
3. Caracterizar las curvas de tasa de crecimiento del *Pleurotus ostreatus* en relación al tiempo de fructificación.
4. Evaluar las características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus* posterior a un proceso de secado.
5. Elaborar compost a partir del postsustrato usado en la producción de *Pleurotus ostreatus*.

## HIPÓTESIS

- Hipótesis nula:

$H_0$ : los desechos de la cáscara de maní se pueden utilizar como sustrato para la producción de hongos comestibles, *Pleurotus ostreatus*.

- Hipótesis alternativa:

$H_a$ : los desechos de la cáscara de maní no se pueden utilizar como sustrato para la producción de hongos comestibles, *Pleurotus ostreatus*.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema que Guatemala está enfrentando en la actualidad; el manejo no sostenible del suelo, la gestión inapropiada de residuos sólidos, la falta de políticas ambientales correctas y la ausencia de educación ambiental, en muchas partes del país, son ejemplo claro de las causas y efectos de dicho problema.

Actualmente, en la región nororiente de Guatemala, en el departamento de Chiquimula, aldea Shororaguá, las familias se dedican al cultivo y venta de maní, que genera toneladas de cáscara que se considera como basura y es incinerada; en otras ocasiones es utilizada como alimento para ganado o como recubrimiento de superficies para criaderos de aves de corral; todas estas actividades no representan un valor agregado satisfactorio al desecho de maní.

Como posible solución al problema, se plantea el aprovechamiento de la cáscara de maní para la elaboración de un sustrato que cumpla con los requerimientos mínimos, en cuanto a nutrientes se refiere, para el crecimiento de hongos comestibles. Considerando que el medio de cultivo después de haber sido utilizado puede ser transformado en compost; entonces, desde este punto de vista se aborda el tema económico pues el desecho original ahora tendrá una doble utilidad: primero como medio de cultivo y posteriormente para el proceso de compostaje.

Se cuantificó el porcentaje de eficiencia biológica (relación de biomasa obtenida por cantidad de sustrato utilizado), evaluando el crecimiento y productividad del cuerpo fructífero al variar suplementos en el sustrato base de cáscara de maní; tales suplementos fueron salvado de arroz y harina de soya.

Luego de obtenidos los cuerpos fructíferos, se realizó el proceso de secado, para la conservación del hongo, aumentando su vida anaquel.

Finalmente, se llevó a cabo el proceso de compostaje, el cual puede ser utilizado para disminuir la cantidad de fertilizante que se aplica al suelo en la época de siembra del maní, con el propósito de crear un ciclo, que inicia en la cosecha de maní y termina en la producción de compost, para mejorar el manejo de residuos, la optimización de los recursos y la rentabilidad económica; es decir, un proceso sostenible, lo cual permite evaluar el proyecto desde un punto de vista no solamente económico sino ambiental y social.

## 1. ANTECEDENTES

Según lo que dijo el MAGA, Guatemala es un país agrícola en donde los cultivos varían dependiendo de la región, según la topografía, geología y geografía. Al nororiente se ubica el departamento de Chiquimula, donde gran parte de la población se dedica al cultivo de: tabaco, café, cítricos, maíz, frijol y maní (*Arachis hypogaea* Lineau); sin embargo, según el *Informe nacional de desarrollo humano de Guatemala*, en las estadísticas de pobreza y desigualdad, se determinó que la población del municipio de Chiquimula se encuentra en un índice del 32,6 % de pobreza extrema.

Monge menciona que el cultivo de maní abarca un proceso aproximado de 90 a 160 días luego de la siembra; se obtiene entre 2 a 6 granos comestibles por cada vaina según la especie. La cáscara, de la cual se extraen los granos comestibles, se convierte en un residuo con bajo o ningún valor económico.

Se han encontrado algunas aplicaciones de los residuos sólidos del maní como el estudio realizado en Santa Cruz, que evaluó la utilización del epicarpio de maní aplicado a la industria de polímeros. Se concluye que al ser añadido un aglomerante ligante, es representativamente útil en la fabricación de paneles y tableros aglomerados; por lo cual se recomendó hacer un análisis económico de dicho producto final.

Se publicó una tesis acerca de la utilización de biomasa proveniente de cáscara de maní, para generar vapor en las calderas a nivel industrial.

Ravera Bettera, Fernández Estive y Piñeda realizaron una investigación del aprovechamiento de los residuos agrícolas, procesamiento de la cáscara del maní, su conversión biológica y productos. Indican también que en la actualidad algunos países americanos como México, Ecuador y Chile han investigado temas relacionados al aprovechamiento de residuos agroindustriales y forestales, asociados a la transformación de los productos lignocelulósicos y la forma en la que estos proveen soporte y nutrientes para el desarrollo de ciertos tipos de hongos comestibles y no comestibles.

Picón evaluó sustratos alternativos para la producción de pilones del cultivo de tomate *lycopersicon esculentum mill*. Donde consideró como sustrato alternativo la cascarilla de maní. Se obtuvieron como resultados niveles óptimos de carbono, nitrógeno y fósforo para el cultivo de tomates.

Donado evaluó tres sustratos para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*); concluye que el rendimiento del hongo ostra está determinado por el sustrato utilizado en su producción.

Bernabé González, Garzón Mayo y Straw realizaron la nota corta cultivo de *Pleurotos ostreatus* sobre paja de sorgo y cáscara de cacahuate; evaluaron la eficiencia biológica sobre cada uno de los tipos de sustratos en estudio; se determinó también la factibilidad económica al emplear desechos agroindustriales para el cultivo de hongos comestibles.

Quiñones, Tejada, Arcia y Ruiz redactaron el documento de remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomásas lignocelulósicas, entre ellas la cáscara de maní.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Residuos**

El término residuo hace referencia a toda aquella materia que tentativamente no tiene utilidad ni valor agregado, por lo tanto, esta es desechada, posteriormente al haber sido utilizada de la forma para la que fue creada o procesada.

### **2.2. Residuos de la agroindustria**

Se conoce como residuo agroindustrial al material agrícola que después de haber sido producido, manipulado o bien utilizado a nivel industrial, no representa valor para quien lo posee, por lo tanto se desecha. En la mayoría de ocasiones es desechado de forma no adecuada generando contaminación.

Según lo que dijo Moreno, los residuos agrícolas se clasifican en dos categorías, la primera hace referencia a los residuos de campo o residuos de cosecha, los cuales incluyen vainas, pajas, tallos y hojas, entre otros. Y la segunda categoría involucra los residuos de procesado, como cascaras y bagazo. Estos residuos se clasifican según la etapa en la que son generados.

Según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 2004, la producción anual de maní a nivel mundial fue de 35 655 000 toneladas, cuyos principales productores fueron India y China. Así mismo, la tasa de residuos de cáscaras de maní a nivel mundial fue de 82 013 000 toneladas de paja y 17 009 000 toneladas de cáscara.

## **2.2.1. Composición química de los residuos de la agroindustria**

Para el cultivo de hongos comestibles, se utilizan residuos agrícolas que estén conformados por compuestos ligninocelulolíticos, estos a su vez por celulosa, hemicelulosa y lignina, cuya interrelación es compleja y tiene variaciones de acuerdo con el recurso lignocelulósico de que se trate.

### **2.2.1.1. Celulosa**

Es el polímero más abundante de la biosfera, compuesto por moléculas D-glucosa unidos por enlaces  $\beta$ -1,4. Su estructura está unida por puentes de hidrógeno intermoleculares formando microfibrillas.

La celulosa brinda soporte a la planta e impermeabilidad al agua, lo cual produce insolubilidad en agua y resistencia a la hidrólisis; sin embargo, la celulosa puede ser degradada enzimáticamente por endo- $\beta$ -1,4-gluacanasa y endo- $\beta$ -1,4-glucosidasa, quedando la celulosa libre como fuente de energía.

### **2.2.1.2. Hemicelulosa**

Es un heteropolisacárido unido por enlaces  $\beta$ -1,4, principalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucurónico. Estas, en conjunto, forman una cadena lineal ramificada. Los hongos tienen la capacidad de degradar la hemicelulosa por medio de la producción de enzimas xilasa galactanasas, manasas y glucanasas.

### **2.2.1.3. Lignina**

Es polímero complejo tridimensional, globular e insoluble, de naturaleza aromática, con alto peso molecular, que tiene como base estructural unidades de fenil-propano. Se localiza principalmente en la lamela media, donde se deposita durante la lenificación del tejido vegetal. Esta unida químicamente a la hemicelulosa y rodea a las fibras de la celulosa. La lignina es la responsable de proteger a la planta, dándole rigidez y mecanismos de resistencia al estrés y a ataques microbianos. Los hongos degradan la lignina mediante enzimas como la lignina peroxidasa y la lacasa.

## **2.3. Características generales del maní**

A continuación, se habla sobre las características del maní.

### **2.3.1. Taxonomía**

Según lo que dijo Monge Villalobos, en su libro *Cultivo del maní*, cacahuete o cacahuete se clasifica dentro del reino *Plantae*, división *Magnoliophyta*, clase *Magnoliopsida*, orden *Fabales*, de la familia de las *Leguminosae*, subfamilia Papilionácea, genero *Arachis*, de las especies *Arachis hypogaea* Lineau, el maní común.

### **2.3.2. Morfología del maní**

Como se muestra en la figura 1, es un pequeño arbusto con hábito de crecimiento rastrero o erecto de entre 30 y 80 cm de alto. Posee hojas con 4 foliolos u hojuelas ovaladas o elípticas con la base parcialmente redonda. Respecto al sistema radical, este está constituido por una raíz que alcanza

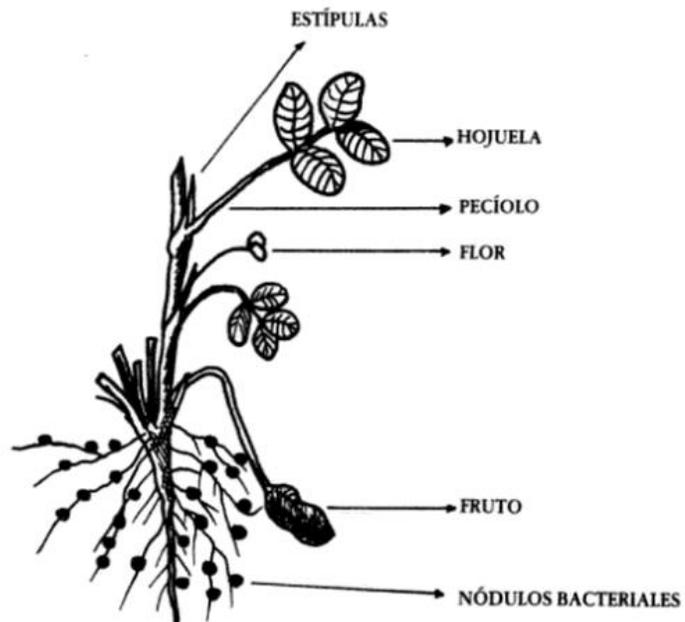
entre 30 y 60 cm de longitud, abundantes raíces secundarias absorbentes y una cantidad significativa de nódulos, los cuales son producto de la asociación simbiótica entre las raíces y las bacterias fijadoras de nitrógeno.

El arbusto contiene flores amarillas de entre 8 y 10 mm de diámetro, las cuales brotan de las axilas de las hojas.

Típicamente, los frutos son indehiscentes, es decir que el fruto no se abre espontáneamente al llegar a la madurez para liberar las semillas; por lo tanto, para extraer sus semillas es necesario aplicarle presión moderada. Poseen una cáscara coriácea y reticulada que puede tener formas diferentes, como se muestra en la figura 2. Según Monge, crecen por debajo de la tierra y entre las raíces.

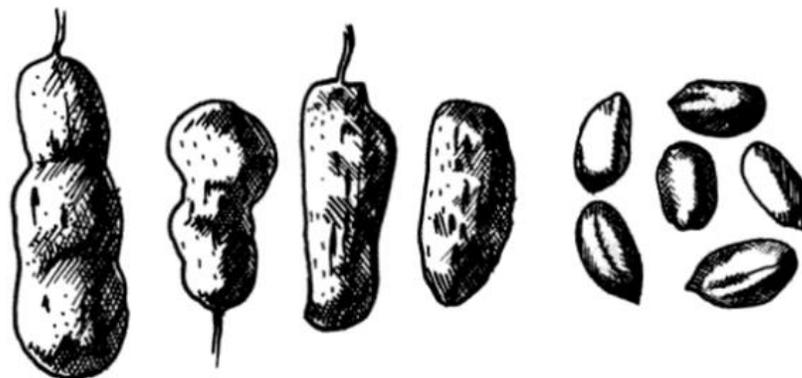
Las semillas miden de 5 a 10 mm de diámetro y son de color marrón, se caracterizan por tener un tegumento no grueso llamado comúnmente testa, el cual recubre a dos cotiledones. Principalmente la semilla está constituida por 22 % a 30 % proteínas; 43 % a 54 % grasas; 10 % a 16 % hidratos de carbono; calcio, fósforo, hierro y vitaminas en las que se incluyen A, B, C y E.

Figura 1. Estructura de la planta de maní



Fuente: MONGE VILLALOBOS, L. A.; et. al. *Cultivo del maní*. p. 39.

Figura 2. Diferentes tamaños y formas de la cáscara de maní



Fuente: MONGE VILLALOBOS, L. A.; et. al. *Cultivo del maní*. p. 40.

## 2.4. Cáscara de maní

A continuación se muestra la composición química de la cáscara de maní.

### 2.4.1. Composición química de la cáscara de maní

La cáscara está aproximadamente constituida por 95 % de materia orgánica y 5 % de minerales presentes en las cenizas tales como silicio, calcio, magnesio, potasio, aluminio, fósforo, azufre y cloro. Contiene además otros polisacáridos, lípidos, proteínas, minerales, azúcares libres y resinas. Otros autores han sugerido composiciones bioquímicas analizando otros factores como la cantidad de grasa, humedad o proteína, tal como se muestra en las tablas I y II, análisis realizados por Yeboah y Woodroof respectivamente.

Tabla I. **Composición química de la cáscara de maní propuesta por Yeboah**

<b>Composición química</b>	<b>Cantidad %</b>
Lignina	34
Glucano	21
Extractivos	14
Proteína	11,1
Xylano	7,9
Cenizas	3,4
Arabinosa	0,7
Galactano	0,2
Mannanos	0,1

Fuente: YEBOAH Y., et. al. *Hydrogen from biomass for urban transportation. Hydrogen, fuel cells and infrastructures technologies program review meeting.* p. 18.

Tabla II. **Composición química de la cáscara de maní propuesta por Woodroof**

<b>Composición química</b>	<b>Cantidad %</b>
<b>Humedad</b>	8 – 10
<b>Proteína cruda</b>	6 -11
<b>Grasa</b>	1 - 2
<b>Celulosa</b>	35 – 45
Hemicelulosa	23 – 30
Lignina	27 – 33
Ceniza	2 – 4

Fuente: WOODROOF, J. G. *Peanuts. Production, processing, products.* p. 229.

#### **2.4.2. Usos de la cáscara de maní**

El principal uso de la cáscara es como combustible de calderas, también se utiliza como alimento para ganado indigesto y sin valor proteico; como carnada de aves de corral; así mismo, se utiliza para protección a la superficie de las patas de aves; como medio para cultivo de hongos, vehículo para pesticidas y fertilizantes; y algunos usos similares a la viruta de madera, tales como protección de plantas.

En la industria de cementos es empleado para restarle peso a la mezcla del hormigón, a la vez de darle porosidad, aislamiento acústico y térmico. Se ha utilizado en la industria de colorantes aplicados a textiles, conjuntamente se produce carbón activado a partir de la cáscara. Otro uso es la elaboración de paneles de baja densidad (aglomerados con resinas sintéticas) para su aplicación en cielorrasos, buscando aprovechar la propiedad aislante de las cáscaras.

## **2.5. Medios de cultivo en estado sólido**

En los medios de cultivo en estado sólido, el sustrato transformado por el microorganismo es, como su nombre lo indica, un sólido. Para dicho medio se distinguen dos tipos de cultivo: el primero hace referencia a aquellos cultivos en donde el material sólido e insoluble en agua, parcialmente humedecido, actúa como la principal fuente de nutrientes y soporte para el desarrollo del microorganismo. El segundo tipo se refiere a los cultivos en los que el soporte es un sólido inerte nutricionalmente, actuando como lugar de anclaje del microorganismo.

### **2.5.1. Fermentación en estado sólido**

La fermentación en estado sólido consiste en el crecimiento de microorganismos sobre partículas sólidas en ausencia de agua libre en el sistema. El agua se encuentra ligada de una forma compleja a la matriz sólida, ya sea adsorbida en la superficie de las partículas o atrapada dentro de la región capilar del sólido.

Cuando los microorganismos son aerobios es necesario alimentar al sistema con un determinado flujo de aire, el cual, además de suministrar el oxígeno necesario, contrarresta el incremento de temperatura que se produce por la generación de calor metabólico.

### **2.5.2. Variables que condicionan los cultivos en estado sólido**

Es de suma importancia definir las variables que condicionan el proceso, ya que de esto depende el grado de éxito de la fermentación. Siendo de las fundamentales.

### **2.5.2.1. Contenido de humedad del sustrato**

Es el factor de mayor importancia, el nivel adecuado de humedad es función de la naturaleza del sustrato, del tipo de microorganismo y sus requerimientos, así como de la biomasa.

Con base en esta variable, son los hongos los organismos más aptos para desarrollarse sobre el sustrato. Debido a sus bajos requerimiento de actividad de agua. Se debe considerar que un alto contenido de humedad genera porosidad baja y disminución en la difusividad del oxígeno; esto radica en un crecimiento excesivo del micelio aéreo. Por otra parte, un bajo contenido de humedad podría provocar la esporulación del microorganismo.

A partir de lo mencionado, es notable la influencia que tiene esta variable sobre el desarrollo de los metabolitos, ya que ejerce sobre la estabilidad de la actividad enzimática intra y extra celular, y esto a su vez en la desnaturalización térmica.

### **2.5.2.2. Temperatura**

Debido a la actividad metabólica es muy frecuente que se incrementen los valores de la temperatura durante el proceso fermentativo, principalmente en la zona interna del sustrato. Afectando el desarrollo y producción de biomasa. Como durante la fermentación el calor se difunde por los poros internos del sustrato, es necesario suministrar una fuente de calor al medio, para regular los requerimientos térmicos del microorganismo, recordando que la actividad del agua está ligada a la temperatura, ya que de esta dependerá la rapidez con las que se evapore el agua contenida.

### **2.5.2.3. Aeración y agitación**

Mediante la aeración y agitación es posible incrementar los procesos de transferencia de masa, incluyendo la difusión de gases principalmente el oxígeno, a nivel interpartícula; considerando que esta difusión dependerá de la proporción de poro del sustrato, lo cual depende a su vez de la naturaleza química del sustrato y del tamaño de partícula. Respecto a la transferencia de masa intrapartícula, se refiere a la transferencia de nutrientes hacia el micelio y a la degradación del sustrato mediante enzimas.

### **2.5.2.4. pH**

Para los medios de cultivo sólidos el pH es relativamente estable, por efecto tampón de los sustratos empleados, por tanto, es importante fijar esta variable al inicio del proceso para limitarse a su verificación durante el desarrollo. Esto es fundamental cuando no se produce agitación, solamente aireación.

## **2.6. Sustratos**

Un sustrato es un material sólido que no forma parte propiamente del suelo, natural o sintético; mineral u orgánico; colocado en un recipiente en estado puro o mezclado, que desarrolla la función de soporte para el crecimiento y desarrollo de plantas, suministrando agua, oxígeno y nutrientes.

En la mayoría de las fermentaciones en estado sólido, el sustrato y el medio de soporte coinciden en condiciones o características; debido a esto es frecuente que se utilicen materiales orgánicos como sustratos: granos de

cereales y sus derivados, semillas oleaginosas, también residuos agrícolas o forestales.

## **2.6.1. Propiedades físicas y químicas de los sustratos**

A continuación, se presentan las propiedades físicas y químicas de los sustratos.

### **2.6.1.1. Peso específico aparente**

Se refiere a la relación del material seco con el volumen que ocupa, para ello se realizan calentamientos a más de 100 °C y previamente se satura la muestra, para ponerla en equilibrio a la tensión de 1 KPa.

### **2.6.1.2. Granulometría**

Es la forma de caracterizar la composición de la muestra respecto al tamaño de partícula. El método aplicado para determinar la granulometría comúnmente es la sedimentación.

### **2.6.1.3. Porosidad y densidad aparente seca**

Hace mención a la diferencia entre la unidad de sustrato y el volumen ocupado por el material sólido. Y la densidad aparente seca se refiere a la relación de masa seca y el volumen total de encubrimiento.

### **2.6.2. Relación carbono nitrógeno**

Entre los nutrientes más importantes para los microorganismos destacan el carbono, el nitrógeno y el fósforo, que son fundamentales para el crecimiento y la síntesis celular.

El nitrógeno debe estar presente, debido a que este en unión con el carbono, son básicos para la formación de la pared celular y del protoplasma microbiano. Y para el metabolismo microbiano es necesaria la presencia del fósforo.

La relación carbono nitrógeno (C/N) óptima, es función de los requerimientos de cada uno de los elementos en sus rutas anabólicas. Si al inicio la relación C/N es muy elevada aparecerán limitaciones por escases de nitrógeno lo que reduce la estabilidad de materia orgánica, lo cual conlleva a esperar largos periodos para alcanzar la estabilidad C/N óptima. Si la relación es muy baja, entonces, el nitrógeno será removido del sustrato en forma de amoníaco, produciendo contaminación al medio ambiente y aumento en el pH del sustrato.

### **2.6.3. Criterios para seleccionar un sustrato**

Para elegir un material como sustrato se deben considerar varios aspectos para que el crecimiento de las plantas sea el óptimo. Dentro de los criterios más importantes se encuentran:

- Que posea propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el crecimiento, mencionadas con anterioridad.
- Se debe considerar la relación beneficio-costos.

- Disponibilidad en la región o zona.
- Facilidad de manejo o compatibilidad, en el caso de realizar mezclas de materiales.
- Evitar que causen daño al ambiente.
- Que estén libres de patógenos.

#### **2.6.4. Ventajas de utilizar sustratos**

Una de las ventajas del uso de sustratos la constituye el menor control de plagas y enfermedades de la raíz de diversidad de plantas hortícolas, las cuales son comunes cuando se utiliza el suelo como medio de crecimiento. Para el sistema de cultivo en suelo se han desarrollado diversos métodos de desinfección con la finalidad de incrementar rendimiento y calidad de producto. Entre estos se encuentran: la solarización, vaporización, con el objeto de evitar el uso de moléculas químicas complejas y tóxicas como el bromuro de metilo, entre otros.

Los desechos orgánicos transformados en sustratos mediante técnicas tales como el compostaje o vermicompostaje proveen propiedades adecuadas para el crecimiento de los cultivos, como la reducción del tamaño de partícula que lleva a una mayor retención del agua por el sustrato, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y la mejora de la capacidad de aireación, las cuales dependerán de la naturaleza de los materiales.

#### **2.7. Hongos**

Son organismos heterótrofos que se alimentan por absorción, gracias a sus exoenzimas cuya función es degradar moléculas complejas en compuestos

orgánicos más pequeños para que el hongo los pueda absorber en su organismo y digerir.

Los hongos se reproducen principalmente por esporas, de forma sexual o asexual, las esporas se propagan al ser movilizadas por medio de corrientes de aire o transportadas por insectos, cayendo al suelo y germinando en el lugar donde sean depositadas. La germinación consiste en la activación del metabolismo, seguido por el abultamiento de la espora que provoca la formación de un tubo germinativo, el tubo se alarga hasta convertirse en una hifa, la cual se ramifica hasta dar lugar a un nuevo organismo. Una de las características que diferencian la reproducción asexual de la sexual, radica en que la primera es más rápida y con mayor alcance de propagación.

El reino de los hongos se divide en cuatro categorías:

- Quitridiomycetos: los cuales producen esporas natatorias.
- Cigomycetos: se reproducen formando cigosporas diploides.
- Ascomycetos: forman esporas en una funda semejante a un saco llamada asca.
- Basidiomycetos: forman estructuras reproductoras con forma de clava llamadas basidios.

## **2.8. *Pleurotus ostreatus***

A continuación, se presenta la taxonomía del *Pleurotus Ostreatus*.

### **2.8.1. Taxonomía**

- Reino: Fungí

- División: Basidiomycota
- Subdivisión: Basidiomycotina
- Clase: Basidiomycetes
- Orden: Agaricales
- Familia: *Tricholomataceae*
- Género: *Pleurotus*
- Especie: *ostreatus*

### **2.8.2. Generalidades del hongo *Pleurotus***

Los hongos del género *Pleurotus*, también llamado setas, toman los nutrientes necesarios para su alimentación de los materiales sobre los que crecen. Tienen la capacidad de degradar celulosa y lignina presente en residuos agrícolas. Algunos de los sustratos más utilizados para el cultivo de hongos comestibles son las pajas de cebada, trigo, avena, arroz, pulpa de café, residuos de oleaginosas, residuos forestales y algunos bagazos como los de caña de azúcar y de maguey tequilero. Algunas veces, es recomendable hacer una combinación de sustratos en diferente proporción, para incrementar la producción de hongos.

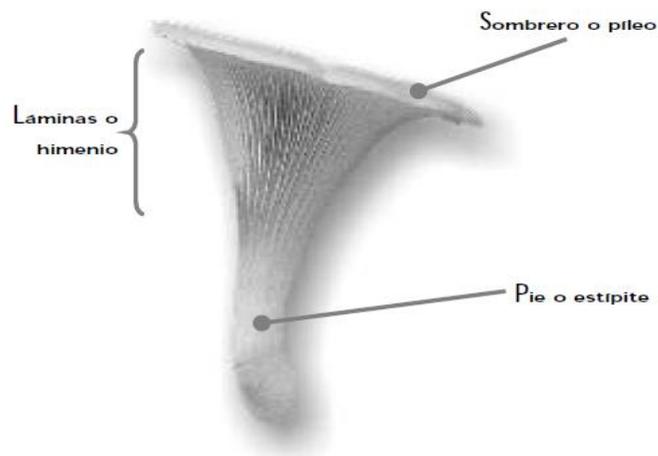
### **2.8.3. Estructura *Pleurotus ostreatus***

Cada hongo, como se muestra en la figura 3, está formado por una serie de finos filamentos llamados hifas, que en conjunto forman lo que se denomina micelio. En la naturaleza y bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, este micelio extendido sobre un sustrato adecuado, se transforma en pequeños grumos que van aumentando de tamaño hasta formar la típica seta. El hongo formado con su sombrero y pie, tiene la función de producir las estructuras de reproducción llamadas esporas cuya misión es perpetuar la

especie. Estas esporas se forman en la cara inferior del sombrero, en unas laminillas verticales que se extienden desde la parte superior del pie hasta el borde del sombrero.

Dado que la especie *Pleurotus ostreatus* se alimentan de la materia orgánica en la que están creciendo, degradando las substancias con enzimas que liberan al medio húmedo que les rodea, es importante suministrar un sustrato adecuado al hongo para que los nutrientes puedan ser aprovechados por las hifas del micelio. Así como aire que aporte oxígeno, y cierta cantidad de luz que varía dependiendo de la etapa de desarrollo.

Figura 3. **Estructura del *Pleurotus ostreatus***



Fuente: GAITÁN HERNÁNDEZ, Rigoberto; SALMONES, Dulce; PÉREZ MERLO, Roselia; MATA, Gerardo. *Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción*. p. 102.

#### **2.8.4. Toxicidad del hongo *Pleurotus ostreatus***

La intolerancia a la trehalosa es una enfermedad provocada por no disponer de la enzima trehalasa en el intestino, encargada de que la trehalosa

sea bien digerida. Es una enzima que se encuentra en los seres humanos y la mayoría de los animales en el borde de la mucosa intestinal, en el intestino delgado, así como en el riñón, el hígado y el plasma sanguíneo.

La trehalosa, presente en hongos comestibles, es un disacárido, es decir, un azúcar doble, ya que está formado por dos moléculas de glucosa unidas, al ingerirla, no puede ser desdoblada al no existir esta enzima. La falta de esta enzima en el intestino delgado provoca que esta pase sin digerir al intestino grueso y será fermentada por la flora intestinal de los ácidos grasos de cadena corta y por las bacterias, produciendo gases, diarrea y dolor abdominal.

Es importante mencionar que el consumo de los hongos comestibles está muy asociado con el alto valor alimenticio que proporcionan sin dejar de tomar en cuenta el sabor, además de que son fáciles de digerir, contienen pocas calorías y un alto contenido proteico; también, es importante su contenido de vitaminas, como tiamina, riboflavina, piridoxina, entre otras. Por lo tanto, las personas que desarrollen alergias a estos componentes, es aconsejable que eviten el consumo.

#### **2.8.5. Aportes nutricionales del hongo *Pleurotus ostreatus***

Actualmente, los hongos *Pleurotus ostreatus* se consideran un alimento complementario con alto valor nutricional, dado que sus proteínas contienen todos los aminoácidos esenciales.

Este hongo en base seca es rico en carbohidratos, 57-61 %; proteína, 26 %; fibra, 11,9 %; contenidos grasos, 0,9 % - 1,8 %; vitaminas tales como tiamina (B1), niacina, vitamina B12 y vitamina C. Además, aporta minerales como potasio, calcio y fósforo.

### **2.8.6. Medio de cultivo y preparación del inóculo para *Pleurotus ostreatus***

Para el desarrollo del micelio del hongo se emplean frecuentemente medios de cultivo sólidos. Respecto a la obtención de la cepa, la parte algodonosa que se desarrolla sobre un medio de cultivo con nutrientes, se debe aislar mediante tejido o por espora.

Por tejido, el resultado es una copia exacta del microorganismo original. Debe de desarrollarse en un ambiente de absoluta asepsia. Para ello a los medios de cultivo esterilizados, antes de su solidificación puede aplicarse penicilina o bien estreptomicina al 0,1 %, así mismo una limpieza continua de utensilios y área de trabajo con hipoclorito al 10 % y alcohol etílico al 70 %. Este aislamiento consiste en colocar el hongo dentro del medio de cultivo y aislarlo en plena oscuridad a temperaturas de 25 % a 28 °C. Y entre 2 o 3 días después se verá el crecimiento algodonoso. Para indicar un buen crecimiento debe ser color blanco o amarillento.

La preparación del inóculo se refiere a la propagación o desarrollo intensivo del hongo sobre semillas, para ello se utilizan bolsas de polipapel. La elección de las semillas para producir el inóculo puede variar entre salvado de arroz, avena, mijo y cebada. La semilla se debe limpiar, lavar e hidratar por inmersión en agua, para escurrirlo posteriormente y ser colocadas en las bolsas de polipapel, las cuales se esterilizan en olla de presión a 15 lb y durante aproximadamente una hora. Por ultimo estas bolsas son enfriadas.

### **2.8.7. Producción de *Pleurotus ostreatus***

La producción de *Pleurotus ostreatus* está dividida en tres etapas fundamentales: preparación del sustrato, siembra e incubación y fructificación.

#### **2.8.7.1. Preparación de sustratos para producción de *Pleurotus ostreatus***

El sustrato que se utilizará debe ser homogéneo en su tamaño el cual no debe ser mayor a 4 cm y debe cumplir con los requerimientos fisicoquímicos del sustrato ya mencionados. Al sustrato como tal se le aplica calor, con la finalidad de eliminar la flora microbiana nociva presente. Es apropiado remojar la materia y posteriormente escurrir el exceso de agua contenida, procediendo a la pasteurización. La pasteurización es una actividad que se realiza con la finalidad de eliminar en el mayor grado posible los elementos no deseados que representan competencia para el hongo como tal dentro del sustrato. Puede ser con vapor o por medio de inmersión en agua caliente. La temperatura de pasteurización debe ser menor a los 55 °C para evitar que haya variabilidad química en la composición.

#### **2.8.7.2. Enriquecimiento del sustrato para producción de *Pleurotus ostreatus***

La idea principal es mejorar y aumentar la producción de hongos a partir de la adición en cantidades mínimas, tales adiciones pueden ser principalmente de harina de maíz, harina de soya, harina de girasol, salvado de arroz, bagazo de caña o pulpa de café entre otros.

### **2.8.7.3. Siembra e incubación para producción de *Pleurotus ostreatus***

La siembra se lleva a cabo en bolsas plásticas transparentes de capacidad según sea necesitada o deseada por quien cultive. Las bolsas deben ser esterilizadas de la misma forma que las bolsas de polipapel, deben ser perforadas para la gasificación posterior del sustrato. Se utilizan estas bolsas debido a que representan sencillez y fácil adaptación a las condiciones del hongo. El proceso deber realizarse asépticamente.

La incubación se refiere a la etapa de propagación del hongo, previo al fructificación y a la cosecha. Para esta etapa es fundamental controlar la luz, la temperatura entre 25 °C y 30 °C, humedad relativa superior al 80 % y el tiempo que oscilará de 15 a 30 días. Para todo ello primero se debe de cerrar las bolsas y revisarlas periódicamente para verificar la propagación del micelio y la ausencia de posibles contaminantes.

### **2.8.7.4. Fructificación de *Pleurotus ostreatus***

Cuando el micelio ha crecido y se forma una masa de aspecto algodonosa que cubre la superficie del sustrato, es la primera fase de la formación de cuerpos fructíferos durante esta etapa se desea alcanzar el tamaño deseado sin que el borde del píleo se rompa, entonces se debe de controlar la temperatura, la cual debe oscilar entre los 12 °C a 16 °C; la cantidad de luz que se brinda al sustrato debe estar en un rango de 150 a 200 lux, así como la ventilación debido a que el dióxido de carbono debe ser mayor a 1 000 ppm. Y la humedad relativa debe ser mayor al 85%, ya que esta le brinda el crecimiento óptimo al hongo.

## **2.9. Eficiencia biológica**

La producción de hongos es evaluada como eficiencia biológica (EB) que resulta de dividir la masa fresca de cuerpos fructíferos entre la masa seca de sustrato, expresada como porcentaje. Esto se refiere a la medida estimada de producción, la capacidad de los hongos de convertir un sustrato en cuerpos fructíferos. Calculado dividiendo el total del peso de hongos frescos recolectados de un cultivo (en varias floradas) por el total del peso seco del sustrato y expresando esta fracción como porcentaje. Puede ser mayor que 100 %.

## **2.10. Consumo y comercialización**

Una vez cosechados los hongos se pueden consumir, comercializar en fresco o almacenar. Si el objetivo es la comercialización en fresco, esta debe realizarse inmediatamente después de la cosecha, poniendo especial atención en el empaque.

Los hongos cosechados no deben de introducirse por ningún motivo en bolsas de plástico, ya que de este modo se propicia su descomposición. Se debe considerar que los hongos pierden del 1 % al 2 % de su peso inicial por día, por lo que es importante su rápida comercialización. Su vida útil es corta y si se desea conservarlos por un tiempo mayor, en condiciones húmedas pueden refrigerarse entre 0 °C y 5 °C, se pueden deshidratar por medio de aire caliente a una temperatura de 35°C – 45 °C, o bien poner en conserva.

La calidad está ligada a la protección frente a la deshidratación excesiva y a la posibilidad de crear atmosferas modificadas. Así mismo, Gaitán, basa la calidad del hongo en el color, sabor, olor, tamaño y peso fresco.

## 2.11. Recolección y reciclado del sustrato poscultivo

Los sustratos poscultivo de hongos comestibles, como el de *Pleurotus ostreatus*, consiste en separar las bolsas plásticas del sustrato, este sustrato es utilizado frecuentemente para proceso de compostaje, lo que proporciona un valor agregado al cultivo de hongos.

Sánchez, propone las propiedades físicas y químicas, así como cuantificación del contenido del sustrato post cultivo para *Pleurotus ostreatus*.

Tabla III. **Parámetros y contenido del sustrato poscultivo para *Pleurotus ostreatus***

<b>parámetros</b>	<b>valor medio</b>
Humedad	70 %
densidad	200 kg(mf)m <sup>3</sup>
espacio poroso total	96 %
cenizas %	18,05
capacidad de retención %	37
materia orgánica total %	81,95
carbono %	37
nitrógeno %	1.,18
relación (c/n)	37
extracto húmico	7,96 %
pH	7,11
fosforo	0,70
calcio	6,91 %
potasio	0,88 %
magnesio	0,79 %

Fuente: elaboración propia.

## **2.12. Compostaje**

A continuación, se presentan los conceptos y las generalidades del compostaje.

### **2.12.1. Conceptos y generalidades**

Se entiende por residuo biodegradable a todos los residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse en condiciones aerobias o anaerobias, incluidos los residuos de horticultura, agricultura, acuicultura, silvicultura y los procedentes de la preparación de alimentos, así mismo, los residuos forestales.

Se entiende por reciclado a la transformación de los residuos dentro de un sistema de producción en materia útil, para su fin inicial o para otros fines. Incluido el compostaje y la biometización.

Compostaje se refiere a un proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (abono orgánico) bajo el impacto de microorganismos. De tal manera que sean aseguradas las condiciones necesarias, se realiza la fermentación aeróbica de estas materias. Después del compostaje completo, el producto, la tierra humus, se llama compost o abono.

### **2.12.2. Principio del compostaje**

El compostaje se basa en la acción de varios microorganismos aerobios que actúan sobre la materia orgánica original, bajo la influencia de varios factores que ocasionan elevadas temperaturas, reducción del peso y volumen de los residuos induciendo a su oscurecimiento y humidificación.

Es necesario controlar los factores que aseguren la proliferación correcta microbiana por lo tanto es fundamental la mineralización de la materia orgánica. El compostaje es un proceso biooxidativo, lo cual lo diferencia de procesos fisicoquímicos que se realizan de forma anaerobia. Así mismo, se debe de diferenciar el compostaje, que es un proceso controlado, del proceso natural de descomposición de materia, los cuales suelen terminar en anaerobiosis.

### **2.12.3. Parámetros de manejo del compostaje**

Se clasifican en dos categorías:

- Parámetros de seguimiento

Se refiere a los que son medidos y seguidos durante todo el proceso y a adecuados a los intervalos teóricos correctos. Incluida la temperatura, humedad, pH, aireación y espacio libre.

- Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

Hacen referencia a aquellos parámetros que han de ser fijados desde el inicio de proceso, incluidos el tamaño de partícula, la relación carbono nitrógeno (C/N), carbono fósforo (C/P), nutrientes materia orgánica y conductividad eléctrica.

### **2.12.4. Principios microbiológicos y bioquímicos del proceso del compostaje**

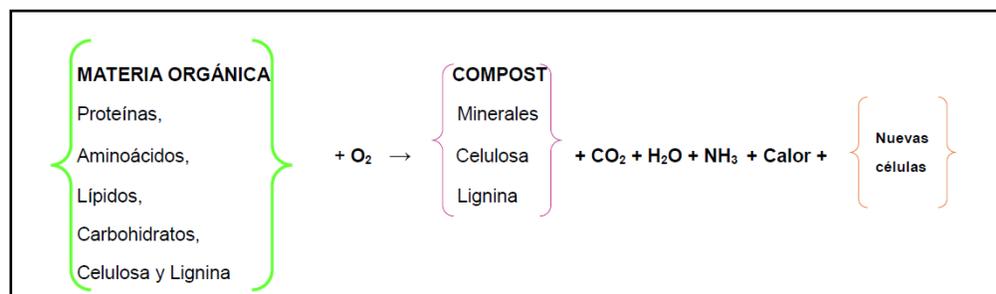
El compostaje constituye un sistema en el que diversas poblaciones microbianas, degradan secuencialmente la materia orgánica en presencia de

oxígeno, generando un producto húmedo, junto con gases, agua y calor; resultado del metabolismo microbiano.

Durante el compostaje los organismos quimio heterótrofos utilizan los sustratos orgánicos como fuente carbono y energía en presencia de oxígeno, mediante rutas metabólicas que convergen en el ciclo de Krebs. Se pueden distinguir dos etapas para la actividad microbiana: la primera se refiere a la etapa biooxidativa, en la cual se tiene alta disponibilidad de nutrientes. Y la etapa de maduración, en la que tanto los microorganismos como los nutrientes no están presentes en elevadas cantidades.

Respecto a la bioquímica del compostaje, como lo describe la reacción de la figura 4, la materia orgánica es biotransformada en condiciones aerobias por medio de reacciones oxido reducción catalizadas por enzimas microbianas, el resultado es la mineralización, la producción de humus, dióxido de carbono y agua, así como una fuente de calor. Las enzimas microbianas tienen la capacidad para degradar, azúcares, proteínas, almidones, sustancias pépticas, fenoles, alcoholes y compuestos aromáticos.

Figura 4. **Reacción general de un proceso de compostaje**



Fuente: elaboración propia.

### **2.12.5. Transferencia de masa y energía**

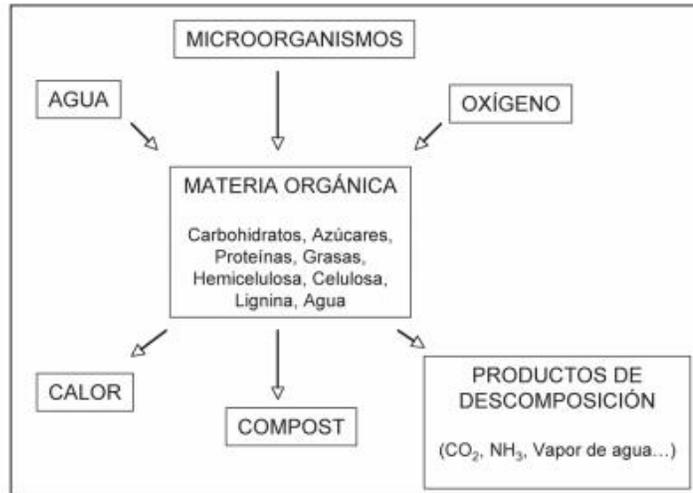
La composición del aire suministrado en una pila de compostaje es diferente respecto a la salida. El aire de salida generalmente tiene más CO<sub>2</sub>, menos O<sub>2</sub> y más agua que el de entrada. Por lo tanto, en términos de transferencia de masa, el efecto del flujo de aire no es solo proveer O<sub>2</sub> y remover CO<sub>2</sub>, también, secar la mezcla de materiales mediante la evaporación.

El sustrato de las pilas es una mezcla heterogénea de materiales; diferentes procesos de transferencia de masa se registran en sus fases gaseosa, líquida y sólida. En la fase gaseosa de los procesos aerobios, el oxígeno debe ser transferido al sitio de actividad microbiana y el dióxido de carbono y otros gases posiblemente inhibitorios deben ser removidos. En las fases acuosas y sólidas, los nutrientes se difunden hasta el microorganismo, las enzimas migran dentro de las partículas sólidas y los productos formados se alejan del sitio de reacción. La humedad también puede ser añadida o removida de la fase acuosa dependiendo de la humedad relativa de la fase gaseosa.

El proceso de compostaje se caracteriza por operar en un intervalo de temperaturas estrecho. La importancia de la temperatura en el desarrollo de un proceso biológico es tal que puede determinar efectos tan importantes como la desnaturalización de proteínas, inhibición enzimática, inducción o inhibición de la producción de un metabolito particular, muerte celular.

Además, la energía generada durante el proceso de fermentación es responsable de factores: elevación de la temperatura, pérdida de agua por evaporación, y tasa específica de crecimiento microbiano. Tal como se ilustra en la figura 5.

Figura 5. **Balance general del proceso de compostaje**



Fuente: BONMATÍ, August. *Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos*. p. 47.

### 2.12.6. Técnicas para elaborar compost natural

Pilar Román en su *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*, sugiere que los factores claves a la hora de decidir una técnica son:

- Tiempo de proceso
- Requisitos de espacio
- Seguridad higiénica requerida
- Material de partida (ausencia o presencia de material de origen animal)
- Condiciones climáticas del lugar

Las diferentes técnicas comúnmente se clasifican en sistemas cerrados y sistemas abiertos. Los sistemas abiertos se refieren a aquellos que se hacen al aire libre, y los cerrados los que se hacen en recipientes o bajo techo.

#### **2.12.6.1. Sistema abierto o en pila**

Cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos (sobre 1 m<sup>3</sup> o superior), se puede llevar a cabo este tipo de compostaje.

#### **2.12.6.2. Sistema cerrado o en recipiente**

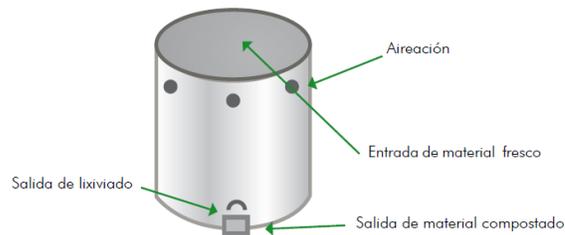
Este método es frecuentemente usado a nivel familiar. La técnica del recipiente tiene una serie de características que favorecen su replicación: evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores (ratones, aves) y evita el acceso al material en descomposición por personal no autorizado y animales. La desventaja de este método es que puede alcanzar altas temperaturas, por lo que el control de los parámetros cobra especial relevancia.

##### **2.12.6.2.1. Método para realizar compostaje en sistema cerrado**

- Elección del lugar y tipo de compostera: en función el espacio disponible (que sea de fácil acceso y preferiblemente cubierto y ventilado). Por ejemplo la compostera vertical que se ilustra con la figura 6.

- Picado del material y llenado del recipiente: es importante que el material tenga un tamaño entre 5 y 20 cm para un proceso de descomposición óptimo.
- Control de la humedad: se puede hacer la llamada técnica del puño cerrado, que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado, pero sin escurrir agua.
- Aireación y volteo: se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando.
- Extracción del material: se pretende separar el material en descomposición, del lixiviado.
- Cernido o tamizado: con el fin de eliminar los elementos gruesos y otros contaminantes (metales, vidrios, cerámicas, piedras). El material grueso que no pasa a través de la malla del tamiz. En su mayoría es material lignocelulósico (maderas) y volverá a una nueva pila de compostaje para cumplir una doble función, seguir descomponiéndose y servir como inoculante de bacterias compostadoras.

Figura 6. **Compostera vertical**



Fuente: RÓMAN, Pilar; MARTÍNEZ, María M.; PANTOJA, Alberto. *Manual de compostaje del agricultor*. p. 103.

### **2.12.7. Utilización del compost**

El compost tiene un amplio espectro de aplicaciones y usos en el sector agrícola y urbano, tales como mejorador de las características físicas, biológicas y químicas del suelo; es un sustrato alternativo al uso de turba y tierra de hoja en la producción de almácigos, plantas ornamentales, jardines; puede además ayudar al control de erosión, etc. Tendencias de la agricultura moderna, basadas en una producción limpia, sustentable y amigable con el medio ambiente han dado origen a un nuevo mercado en el uso de compost con grandes posibilidades de crecimiento a corto plazo.

### **2.13. Secado**

Se entiende por secado la operación unitaria, de transferencia de calor y masa de contacto gas sólido, que consiste en retirar pequeñas cantidades de agua u otro líquido, con el objetivo de disminuir el contenido residual de líquido hasta el valor esperado. Esto debido a que la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, debido a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor

de la corriente gaseosa. Por lo general se lleva a cabo en la etapa final de un proceso, y con frecuencia el producto es extraído de un secador para ser empacado.

### **2.13.1. Clasificación de los secadores**

Warren McCabe, en su libro *Operaciones unitarias en ingeniería química*, los clasifica según el tipo de contacto del medio de secado y el producto a secar.

- El primer tipo se refiere a los secadores donde el sólido está puesto en contacto directo con el gas caliente.
- El segundo tipo refiere a los secadores donde el medio de calefacción es externo, y con frecuencia el calor transferido es puesto en contacto con el sólido, mediante una superficie metálica.
- El tercer tipo se refiere a los secadores que son calentados por microondas, radiación o dieléctricos.

Por otro lado, existen los secadores adiabáticos y no adiabáticos. Los adiabáticos se refieren a aquellos en donde el sólido es expuesto a un gas caliente. Y los no adiabáticos se refieren a aquellos en donde el calor es transferido desde un medio externo.

### **2.13.2. Transferencia de calor en los secadores**

El proceso de secado de sólidos en condiciones húmedas es por definición un proceso térmico. El secado que se recomienda para la

deshidratación de los hongos será un proceso de secado no adiabático por convección, en el cual el único objetivo es remover mediante vaporización el agua contenida en el cuerpo fructífero.

La forma de contacto entre sólido húmedo y el medio de calor, se basa en esparcir sobre una superficie horizontal estacionaria los sólidos esperando que se cuezan hasta quedar secos. El calor puede aplicarse mediante un calentador radiante situado por encima del sólido húmedo.

Para un sólido poroso, como el caso de los hongos, la humedad fluye a través de los poros por capilaridad.

### **2.13.3. Objetivos del secado de alimentos**

Desde la antigüedad se ha considerado el secado o deshidratación de alimentos como un método de preservación de los mismos. Esto debido a que se relaciona el contenido de humedad como un indicador de pronta descomposición en el mayor de los casos. Por tanto, el secado de alimentos tiene como objetivo principal la preservación de los mismos, mediante la disminución de la actividad del agua, logrando evitar la refrigeración.

#### **2.13.3.1. Alimentos postsecado**

La deshidratación de los alimentos implica una reducción del volumen y peso, lo cual provoca una disminución de costos en el transporte y almacenaje de estos productos.

Sin embargo, una de las desventajas del secado radica en que, de forma general se pierde la forma, color, tamaño y textura, esto es debido a las altas

temperaturas a las que son sometidos, causando un encogimiento celular a causa de la pérdida de agua.

Cabe destacar que la variación en sabor y aroma, son causados principalmente por la evaporación de componentes volátiles propios del alimento.



### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Variables**

A continuación, se muestran las variables del diseño metodológico que se utilizó.

##### **3.1.1. Dependientes**

- Semilla de *Pleurotus ostreatus* inoculado en 3 sustratos

##### **3.1.2. Independientes**

- Cuerpos fructíferos
- %EB
- Diámetro de los píleos

##### **3.1.3. Variable respuesta**

- Producción de cuerpos fructíferos *Pleurotus ostreatus*
- Biomasa seca

#### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

- Producción de hongos *Pleurotus ostreatus*.
- Utilización de cáscara de maní originaria del departamento de Chiquimula, aldea Shororogua, Guatemala.

### **3.2.1. Lugar de experimentación**

Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Lisbeth Teresa Flores Ramírez
- Asesor: Ing. Carlos Wong Davi
- Co-asesor: Lic. Roberto Cáceres Staackmann

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

#### **3.4.1. Materia prima**

- Cascara de maní.
- Semilla de *P. ostreatus*
- Salvado de arroz
- Harina de soya

#### **3.4.2. Equipo personal**

- Bata
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Cofia

### **3.4.3. Cristalería y equipo**

- Higrómetro
- Termómetro
- Probeta 1 000 mL
- Becker
- Recipientes grandes plásticos
- Bolsas plásticas de 25 lb
- Bolsa de polipapel (polipropileno) de 2 lb
- Mecheros
- Autoclave
- Malla mosquitera
- Rociador tipo spray Balanza
- Regla Tijeras
- Secador

### **3.5. Técnica**

La técnica que se utilizó se estructura de acuerdo con los objetivos planteados.

#### **3.5.1. Técnica cuantitativa**

Obtenidos los cuerpos fructíferos, se procedió a la medición del diámetro de los píleos, posteriormente se determinó el peso de cada uno y se calculó el porcentaje de eficiencia biológica. Por último, se procedió al secado y cuantificación de la biomasa después de dicha operación.

### **3.5.2. Técnica cualitativa**

La biomasa obtenida se sometió a un proceso de secado, finalizado el proceso se observaron las características como color, olor y cambios en la estructura.

## **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

A continuación, se presentan los métodos utilizados para la recolección y el ordenamiento de la información obtenida.

### **3.6.1. Método para la recolección de materia prima**

Para la adquisición de sustratos se realizaron giras de campo al Departamento de Chiquimula. La cáscara de maní se obtuvo de la aldea Shororagua. Se llenaron costales y se trasladaron por vía terrestre a la ciudad de Guatemala.

### **3.6.2. Procedimiento**

Sustratos para fructificación:

- Sustrato 1: pulpa de café (*referencia*)
- Sustrato 2: cáscara de maní suplementado con salvado de arroz al 25 %
- Sustrato 3: cáscara de maní suplementado con harina de soya 5 %

Se prepararon 5 repeticiones por sustrato y por cepa de 1 000 g de cada uno, colocados en bolsas de polipropileno (polipapel) y esterilizados por 2 horas a 121 °C.

- Determinación del porcentaje de humedad y peso seco de los sustratos

Se tomaron aleatoriamente dos muestras de los sustratos, el porcentaje de humedad se determinó utilizando una balanza medidora de humedad, luego se calculó el promedio del peso seco para cada uno de los sustratos (gramos).

- Incubación y fructificación

El procedimiento para incubación y fructificación se realizó mediante la metodología propuesta.

- Los sustratos se inocularon con 100 g del inóculo previamente preparado e incubados a temperatura de 26 °C, hasta que el micelio colonizó totalmente cada sustrato.
  - Se implementó el módulo de fructificación, controlando el aporte de luz y ventilación, utilizando una estructura de plástico en forma de estantería.
  - Los parámetros medio ambientales se registraron durante los meses de producción, siendo temperatura y humedad.
  - Los sustratos se hidrataron por medio de aspersores tres veces al día.
- Evaluación de la producción de cuerpos fructíferos

El procedimiento se realizó de acuerdo con lo recomendado por Chang y Miles. Se tomó solamente la fructificación de la primera cosecha.

- Los cuerpos fructíferos se cosecharon y pesaron, expresando la cantidad en gramos.
- Se determinó la eficiencia biológica (EB) mediante la fórmula:

$$\%EB = \frac{pf}{ps} * 100 \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

- $P_f$  = peso fresco de los cuerpos fructíferos
- $P_s$  = peso seco de los sustratos

El cálculo del peso seco de los sustratos se realizó de la siguiente forma:

$$ps = pT - (pT * \%h) \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:

- $P_s$  = peso seco del sustrato
- $p_T$  = peso total del sustrato
- $\%h$  = porcentaje de agua en el sustrato (75 %)

Tabla IV. **Evaluación de la eficiencia biológica**

<b>sustrato</b>	<b>sustrato</b> (g)	<b>Frutos</b> (g)	<b>%EB</b>
1			
2			
3			
S			

Fuente: elaboración propia.

Se contabilizaron y midieron los diámetros de los púleos de las fructificaciones obtenidas, clasificándolas: (G1) < 2 cm, 2 ≥ (G2) ≤ 4 cm y (G3) >4 cm.

Tabla V. **Clasificación de diámetro del púleo**

Sustrato	G1	G2	G3
Arroz			
Soya			
Café			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Crecimiento de cuerpos en función del tiempo**

Sustrato	Etapa	Tiempo (días)
1-s	Siembra	
	Fructificación	
	Corte	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Observaciones del cuerpo fructífero en condiciones secas y húmedas**

Características	Húmedo	Seco
Color		
Olor		
Variación de tamaño significativo		
Deformación significativa		
Textura		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Parámetros del compost obtenido a partir del post sustrato**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>
Tiempo de descomposición	
Relación C/N	
Color	
pH	
% humedad	

Fuente: elaboración propia.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

El diseño general de la investigación se presentó de acuerdo con el diseño factorial:

1 x 3 x 5 (1 cepas, 3 sustratos, 5 réplicas)

Se elaboró una base de datos en el programa EXCEL<sup>®</sup> con los siguientes parámetros: cepa (c/u de las cepas), sustrato (1, 2 y 3), eficiencia biológica (%). Posteriormente, se importó hacia el programa estadístico SPSS 16.0<sup>®</sup>, para su análisis estadístico y elaboración de gráficos de interacción, para determinar la productividad expresada en porcentaje de eficiencia biológica de cada una de las cepas.

Se elaboró una base de datos en el programa EXCEL<sup>®</sup> con los siguientes parámetros: cepa (1 cepa), sustrato (1, 2 y 3), Diámetro de los púleos (G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> y G<sub>3</sub> en cm) y diámetro total.

### 3.8. Análisis estadístico

Con el propósito de buscar la precisión y confiabilidad de los resultados para alcanzar los objetivos de la investigación propuesta y que estos cumplan con un intervalo significativo de confianza, tratando de disminuir los posibles errores utilizando un número de observaciones adecuadas, se realizó.

Se efectuó el análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), para evidenciar las diferencias significativas en función de la eficiencia biológica obtenida para cada una de las cepas en los diferentes sustratos.

Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) para evidenciar las diferencias significativas en función del número de días transcurridos desde la inoculación de los sustratos hasta la primera cosecha, obtenido para cada una de las cepas en los diferentes sustratos.

Se efectuaron análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), con respecto de la media del diámetro total de los púleos. Además, los diámetros fueron clasificados en los grupos G1, G2 y G3; además, se elaboraron gráficas de interacción.

Para la determinación del número de repeticiones se utilizó el diseño factorial completo:

- Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n}$$

45

- Varianza

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}{n}$$

Donde:

- $\sigma$  = varianza
- $x_i$  = valor de una muestra
- $\bar{x}$  = media aritmética
- $n$  = número total de muestras

### **3.8.1. Plan de análisis de los resultados**

A continuación, se presentan los métodos y modelos de datos del plan de análisis que se realizó.

#### **3.8.1.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

- Objetivo específico núm. 1

Determinar la productividad del *Pleurotus ostreatus* sobre dos sustratos a través de la cuantificación de la eficiencia biológica.

Para esto se cuantificó la biomasa en relación a la cantidad de sustrato seco que se empleó.

- Objetivo específico núm. 2

Clasificar por tamaño los cuerpos fructíferos producidos, a través de la cuantificación del diámetro de los píleos del *Pleurotus ostreatus*.

Con una regla se midieron los diámetros de los píleos obtenidos.

- Objetivo específico núm. 3

Caracterizar las curvas de tasa de crecimiento de *Pleurotus ostreatus* en relación al tiempo de fructificación.

Se observó el periodo de crecimiento del hongo partiendo del día de la cosecha; se consideró la fructificación y tomando como punto final el día de corte.

- Objetivo específico núm. 4

Evaluar las características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus* posterior a un proceso de secado.

Se observaron las características cualitativas del cuerpo fructífero en condiciones húmedas y secas, comparando ambas condiciones.

- Objetivo específico núm. 5

Elaborar compost a partir del sustrato ya utilizado luego del corte de los cuerpos fructíferos.

Se determinó la transformación del sustrato postcultivo en compost, considerando parámetros físicos y químicos.

### **3.8.2. Programas a utilizar para análisis de datos**

- Base de datos en el programa de Microsoft EXCEL®

Debido a que presenta una amplia aplicación para la tabulación y manejo masivo de datos numéricos.

- Análisis estadístico y elaboración de gráficos SPSS 16.0®

Se utilizó debido a que permite analizar de forma rápida y confiable los datos estadísticos, y construir gráficos útiles y de fácil comprensión.

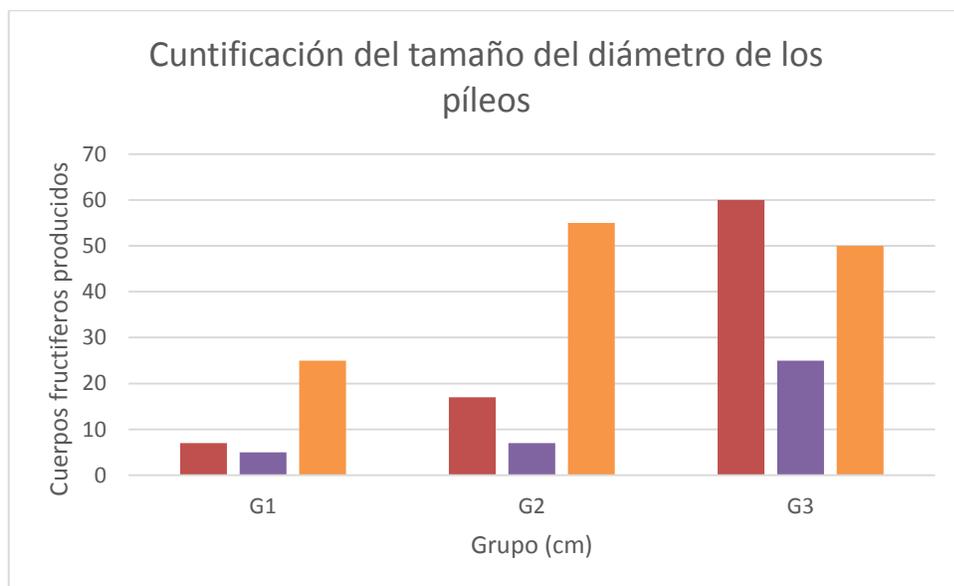
## 4. RESULTADOS

Tabla IX. **Cuantificación de la productividad del *Pleurotus ostreatus***

Sustrato	%EB
Salvado de arroz	21,4646
Harina de soya	19,2777
Pulpa de café	32,1294

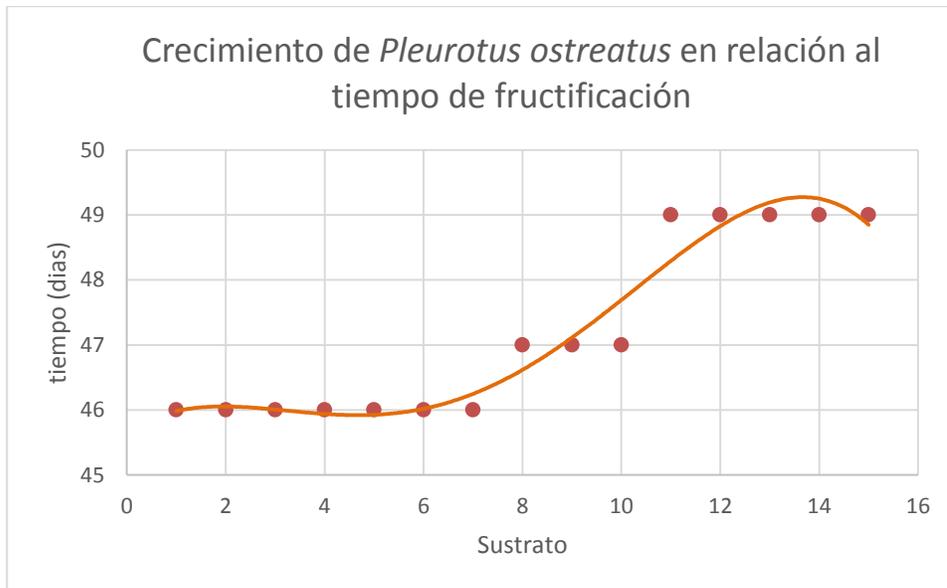
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Clasificación del tamaño de los cuerpos fructíferos del *Pleurotus ostreatus***



Fuente: elaboración propia.

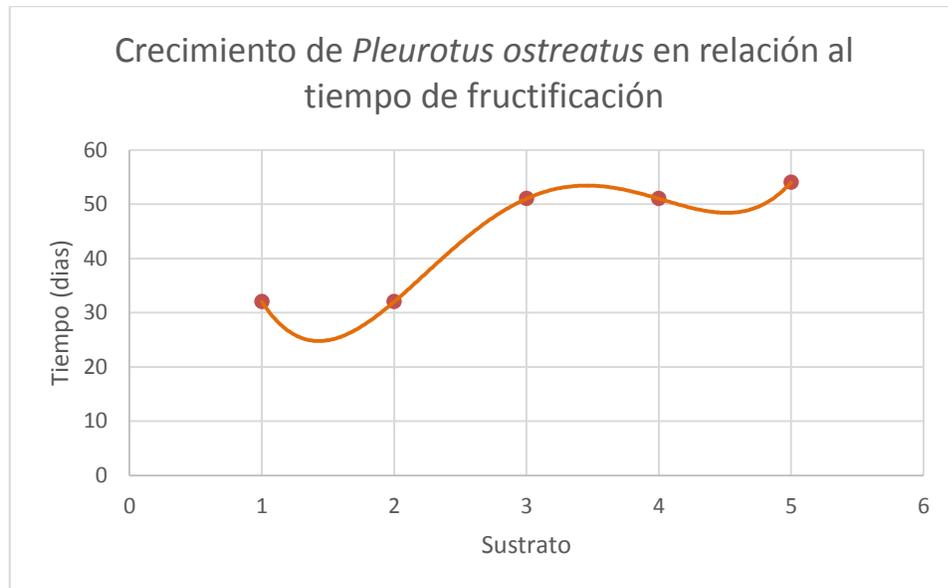
Figura 8. **Caracterización de la curva de la tasa de crecimiento del *Pleurotus ostreatus* sobre el sustrato de cáscara de maní y salvado de arroz**



color	Modelo matemático	Coefficiente de correlación
	$y = -0,001x^4 + 0,0259x^3 - 0,1907x^2 + 0,4767x + 45,672$	$R^2 = 0,9483$

Fuente: elaboración propia.

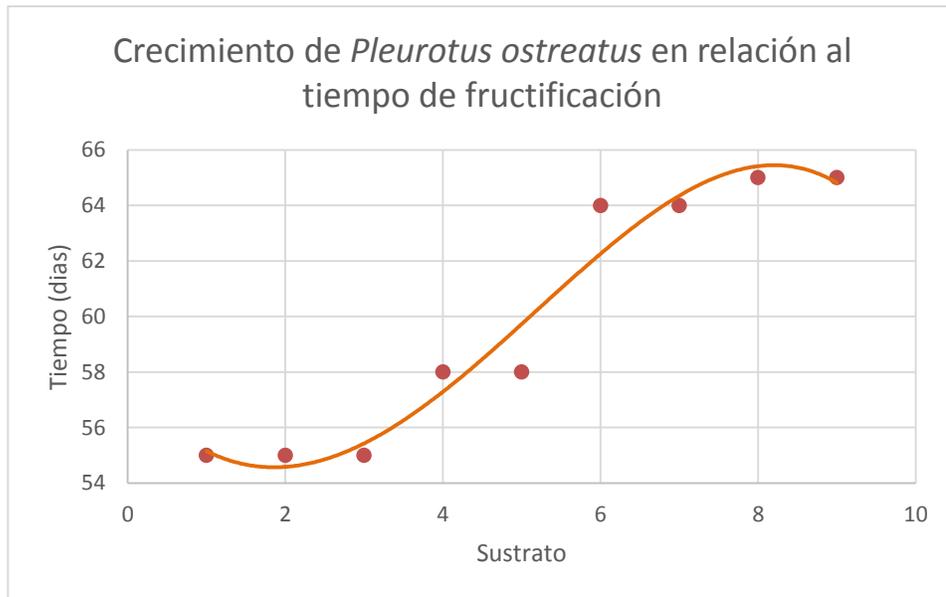
Figura 9. **Caracterización de la curva de la tasa de crecimiento del *Pleurotus ostreatus* sobre el sustrato de cáscara de maní y harina de soya**



color	Modelo matemático	Coefficiente de correlación
	$y = 2,5x^4 - 31,333x^3 + 135x^2 - 223,17x + 149$	$R^2 = 0,9999$

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Caracterización de la curva de la tasa de crecimiento del *Pleurotus ostreatus* sobre el sustrato de pulpa de café**



color	Modelo matemático	Coefficiente de correlación
	$y = -0,002x^4 - 0,0442x^3 + 1,018x^2 - 3,2732x + 57,444$	$R^2 = 0,9562$

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Evaluación de las características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus*, producida sobre sustrato de cáscara de maní y salvado de arroz, posterior al proceso de secado**

Características	húmedo	seco
Color	blanco	dorado /pigmentación blanca
Olor	hongo	Sin
Variación de tamaño significativo	mayor	menor
Deformación significativa	sin	arrugado
Textura	esponjoso	Tostado

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus*, producida sobre sustrato de cáscara de maní y salvado de arroz, antes y después del proceso de secado**



Biomasa húmeda



Biomasa seca

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Evaluación de las características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus*, producida sobre sustrato de cáscara de maní y harina de soya, posterior al proceso de secado**

Características	húmedo	seco
Color	blanco	Dorado
Olor	hongo	Sin
Variación de tamaño significativo	mayor	menor
Deformación significativa	sin	arrugado
Textura	esponjoso	Tostado

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus*, producida sobre sustrato de cáscara de maní y harina de soya, antes y después del proceso de secado**



Biomasa húmeda



Biomasa seca

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Evaluación de las características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus*, producida sobre sustrato de pulpa de café, posterior al proceso de secado**

<b>Características</b>	<b>húmedo</b>	<b>seco</b>
Color	blanco	Dorado/pigmentación café
Olor	hongo	Sin
Variación de tamaño significativo	mayor	menor
Deformación significativa	sin	arrugado
Textura	esponjoso	tostado

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Características de la biomasa del *Pleurotus ostreatus*, producida sobre sustrato de pulpa de café, antes y después del proceso de secado**



Biomasa húmeda



Biomasa seca

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Características físicas y químicas obtenidas del proceso de compostaje**

<b>Tiempo de descomposición</b>	<b>7 meses</b>
<b>Relación C/N</b>	20,4:1
<b>Color</b>	Café oscuro
<b>pH</b>	7,1
<b>% humedad</b>	59,10 %

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la evaluación de los tres sustratos de estudio, dos de cáscara de maní y el de referencia de pulpa de café, se determina que la productividad dada por la cepa en las condiciones de cultivo preestablecidas para el experimento, es mayor para el sustrato de cáscara de maní y aditivo de salvado de arroz, que en el sustrato con aditivo de harina de soya; esto significa que la cepa encuentra mayores nutrientes y mejores condiciones para su propagación cuando se adiciona el salvado de arroz.

Esto es determinado por la cuantificación del porcentaje de eficiencia biológica, para el aditivo de salvado de arroz es de 21,46 % y de 19,28 % para el aditivo de harina de soya (tabla IX). Mediante el análisis estadístico se determina que no existe diferencia significativa en la cuantificación de la productividad entre los tres experimentos, incluido el de pulpa de café.

Respecto a la clasificación del diámetro de los píleos, en los grupos correspondientes, se determina que hubo más producción de cuerpos mayores a los 4 cm para el aditivo de salvado de arroz, seguido de los producidos con pulpa de café y, por último, los producidos con aditivo de harina de soya (figura 7).

La producción de hongos con diámetros que oscilan entre los 2 y los 4 cm, es mayor para los de pulpa de café, seguidos por los de aditivo de salvado de arroz y secuencialmente por los de harina de soya. Respecto a los hongos agrupados en la categoría menor a 2 cm, se cuantifican mayor tendencia para

los de pulpa de café, los de aditivo de salvado de arroz y harina de soya, respectivamente.

La variación en la cantidad de los hongos producidos no solamente radica en las composiciones y características de los sustratos, sino también en el factor climático. Es decir, el crecimiento y desarrollo de los hongos se ve afectado por la humedad y temperatura del ambiente. La producción con aditivo de salvado de arroz se realizó entre los meses de agosto y octubre, meses principalmente húmedos. Paralelamente los hongos producidos de menor diámetro, fueron cultivados entre el mes de octubre y el mes de diciembre, las bajas temperaturas y ausencia de humedad en el ambiente provocan que el hongo muera durante su etapa de fructificación, por lo tanto, su desarrollo no es óptimo.

Por otro lado, la diferencia entre las cantidades producidas de hongos sobre los sustratos de cáscara de maní, también, son promovidos por el ataque de plagas como hormigas, cucarachas, hongos ajenos al sistema, mariquitas y principalmente mosquitos, quienes tienen gran atracción por la cáscara de maní. Esto provocó que la cosecha de cáscara de maní y aditivo de harina de soya resultará en una pérdida casi total, lo cual se puede visualizar en la sección de anexos.

El tiempo para la producción de hongos comestibles del tipo ostra, oscila entre los 30 a 45 días teóricamente; una vez más dentro del experimento es necesario enfatizar el problema que generan las plagas y el factor climático, el hongo necesita humedad e iluminación para crecer, si estos parámetros no se cumplen entonces el proceso será afectado, retardando el tiempo de fructificación.

Basados en las razones anteriormente expuestas, es posible explicar la variación en la tasa de crecimiento del hongo, respecto al tiempo de fructificación. Las curvas de crecimiento modelan, para los tres sustratos analizados, un comportamiento polinomial de grado 4. A partir de la figura 8, se puede señalar que, el tiempo de fructificación promedio para el aditivo de salvado de arroz es de 49 días, según la figura 9, el tiempo promedio fue de 54 días para el de harina de soya y de 60 días promedio para el sustrato de pulpa de café, mostrado en la figura 10.

Pese a que tanto la pulpa de café como el aditivo de harina de soya salen del rango teórico, sus curvas modelan comportamientos congruentes, con coeficientes de correlación altos, tales que para harina de soya se tiene un coeficiente de correlación de 0,9999, el de café corresponde a 0,9562 y el de salvado de arroz corresponde a 0,9483, lo cual indica que existe dependencia entre el tiempo y el tipo de sustrato analizado.

El secado se llevó a cabo en régimen estacionario, en proceso batch y adiabático mediante transferencia de calor por convección. La evaluación para el proceso se realiza desde el punto de vista cualitativo. Por tanto, las variaciones evaluadas se presentan en las tablas X, XI y XII para cada sustrato, en síntesis el producto en su estado fresco es esponjoso, blanco o grisáceo, con su olor característico de hongo, y su píleo está extendido.

Posterior al proceso de secado, el hongo no presenta olor, su deformación es muy visible y tiene cambio en la pigmentación la cual varía dependiendo del sustrato que se empleó, tal como muestra la figura 11; la pigmentación para el aditivo de salvado de arroz se torna dorada tenue.; la figura 12 corresponde al aditivo de harina de soya, la cual como materia prima fue dorada, que toma una pigmentación dorada con mayor intensidad que el de salvado de arroz, y la

figura 13, muestra la pigmentación para el sustrato de pulpa de café, el cual visiblemente describe pigmentación dorada oscura.

Esto significa que efectivamente los hongos tienen la capacidad de absorber no solo nutrientes sino pigmentos de los sustratos, lo cual provoca que al retirar el exceso de humedad que contienen los hongos y dejar solamente aquellos componentes no volátiles, exista variación en la coloración de los cuerpos fructíferos.

Por último, a partir de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos del material proveniente del sustrato post cultivo, que se sometió al proceso de compostaje durante 7 meses, se puede determinar que la relación carbono nitrógeno es aceptable al presentar valores de 20 unidades de carbono por cada cuatro unidades de nitrógeno, valores que se consideran óptimos para los requerimientos comunes del suelo.

Considerando que el compost es producto de la serie de reacciones oxidativas causadas por las interacciones microbianas con el oxígeno y el agua, se considera normal el pardeamiento u oscurecimiento que se ha producido en el material. Así mismo, el porcentaje de humedad obtenido correspondiente al 59,10 %, indica que la actividad microbiana y la transferencia de masa y energía dentro del proceso ha sucedido. Tomando en cuenta que la mayoría de los abonos orgánicos tienen valores de humedad entre 50 % y 70 %.

Debido a las características del suelo el pH del abono orgánico debe de ser neutro, por tanto se puede decir que el pH obtenido de 7,1 es óptimo para los fines que se requiere. Por tanto y considerando la prueba fisicoquímica realizada, se puede determinar que la materia postcultivo es biodegradable, y podría funcionar como un suplemento de abono orgánico, disminuyendo la

contaminación del suelo a causa de los derivados del nitrógeno contenida en los abonos artificiales tal como amoniaco.



## CONCLUSIONES

1. Se determinó que sí es posible la producción del *Pleurotus ostreatus* sobre el sustrato de cáscara de maní.
2. La productividad obtenida para el aditivo de salvado de arroz corresponde al 21,46 % y para el aditivo de harina de soya al 19,28 %. Por tanto, el mejor aditivo es el salvado de arroz, respecto a la pulpa de café.
3. Los hongos que presentaron diámetro de píleo mayor corresponden a los producidos con el sustrato de cáscara de maní y salvado de arroz. Así mismo, los hongos con menor diámetro de píleo corresponden a los cultivados sobre pulpa de café.
4. Las curvas de crecimiento del *Pleurotus ostreatus*, modelan un comportamiento polinomial de grado 4, el mayor coeficiente de correlación fue obtenido para el sustrato de cáscara de maní y harina de soya con un valor de 0,9999.
5. El proceso de secado provoca variación significativa en las características físicas de la biomasa del *Pleurotus ostreatus*, independiente del sustrato empleado, tales como alta deformación, cambio de la pigmentación y textura.
6. Partiendo del material post sustrato es posible la producción de compost. Con una relación carbono nitrógeno de 20.4:1



## RECOMENDACIONES

1. Para reducir los daños ocasionados por mosquitos, entre otros insectos, se sugiere tener un control de plagas.
2. Se debe considerar dentro del periodo de producción del hongo, el factor climático, evitando el frío principalmente.
3. Se debe de promover la implementación de producción agrícola sostenible y ecológica, con la finalidad de disminuir el daño ambiental que se ha causado por las técnicas inapropiadas del manejo de residuos.
4. Incluir, informar e instruir a las personas de la región de estudio con la finalidad de promover mejoras en la calidad de vida y estatus socio económico de dicha población.
5. Evaluar por medio de un estudio de factibilidad, la rentabilidad de la producción a gran escala de hongos comestibles del *Pleurotus ostreatus*.
6. Elaborar el compost mediante el método de pilas y aireación forzada, con el fin de evaluar si existe la optimización en el tiempo del proceso.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ABAD BERJON, M.; NOGUERA MURRAY, P.; CARRIÓN BENEDITO, C. *Los sustratos en los cultivos sin suelo, cultivo sin suelo*. España: Mundi Prensa, 2004. 158 p.
2. BONMATÍ, August. *Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos, evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica*. Costa Rica: McGraw Hill, 2008. 250 p.
3. CHÁVEZ AGUILERA, N.; ROMANTCHIK KRIUCHKOVA, E.; GRACIA LÓPEZ, C.; VELÁZQUEZ BORJA, M. *Desinfección en estático con calor de sustratos*. México: Sociedad Mexicana de micología, 2009. 136 p.
4. DICKEY, Jean L.; HOGAN, Kelly A.; REECE, Jane B.; SIMON; Eric. *Biología esencial*. Estados Unidos: Sirsi, 2007. 193 544 p.
5. DONADO PARADA, Tania Victoria. *Evaluación de tres sustratos para la producción de hongo ostra (Pleurotus ostreatus); Moyuta, Jutiapa*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2014. 291 p.
6. DUSTET Cesar; MENDOZA, Julio; IZQUIERDO KULICH, Elena. *Aplicación de balances de masa y energía al proceso de fermentación en estado sólido de bagazo de caña de azúcar con Aspergillus niger. Biotecnología Aplicada*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2004. 91 p.

7. GAITÁN HERNÁNDEZ, Rigoberto; SALMONES, Dulce; PÉREZ MERLO, Roselia; MATA, Gerardo. *Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción*. México: Instituto de Ecología, 2002. 174 p.
8. GARCÍA CORTES, Vera. *Introducción a la microbiología*. México: McGraw-Hill, 2004. 143 p.
9. GONZÁLEZ, Bernabé T.; MAYO, Garzón R. *Nota corta cultivo de Pleurotus Ostreatus sobre paja de sorgo y cáscara de cacahuate*. México: Sociedad Mexicana de Micología, 1994. 168 p.
10. HAUG, Roger. T. *Compost engineering; principles and practice*. Estados Unidos: Technomic Publishing, 1980. 95 p.
11. LLURBA, M.; BARO, E. *Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. horticultura: revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*. México: Mundi Prensa, 1997. 35 p.
12. MAUPOEY, Pedro Fito; ALBORS SOROLLA, Ana María; ANDRÉS GRAU, Ana María; BARAT BAVIERA, José Manuel. *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2001. 296 p.
13. McCABE, Warren L.; SMITH, Julian C.; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2002. 1114 p.

14. MONGE VILLALOBOS, L. A.; REED, C. A.; DAVIDSON, J.; SMITH, J. R.; HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; REHM, S. *Cultivo del maní*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, 2004. 102 p.
15. MORENO CASCO, Joaquín; MORAL HERRERO, Raúl.; *Compostaje*. España: Mundi Prensa, 2007. 493 p.
16. NIETO, Ivonne. *Determinación de la toxicidad de Pleurotus ostreatus, Pleurotus pulmonarius y Paxillus involutus sobre Artemia salina*. [En línea]. <<http://www.reviberoammicol.com/2008-25/186187.pdf>  
<http://www.reviberoammicol.com/2008-25/186187.pdf>>. [Consulta: 1 de noviembre de 2016].
17. PASTRANA, L. *Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria*. Estados Unidos: CYTA-Journal of Food, 1997. 12 p.
18. PICÓN CANAHUÍ, Rigoberto Carlos. *Evaluación de sustratos alternativos para la producción de pilones del cultivo de tomate Lycopersicon esculentum mill. en los municipios de Esquipulas y Chiquimula, departamento de Chiquimula, Guatemala*. Trabajo de graduación de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2011. 192 p.
19. QUIÑONES, Edgar.; TEJADA, Candelaria.; ARCIA, César.; RUIZ, Víctor. *Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomásas lignocelulósicas: una revisión*. México: UDCA, 2013. 489 p.

20. RAVERA, C.; BETTERA, C.; FERNÁNDEZ, M.; ESTIVE, E.; PIÑEDA, H. *Aprovechamiento de los residuos agrícolas. procesamiento de la caja del maní, su conversión biológica y productos. In i simposio iberoamericano de ingeniería de residuos.* México: McGraw-Hill, 2008. 124 p.
21. RENOVABLES, E. *Energía biomasa.* Argentina: Subsecretaría de Energía Eléctrica, 2004. 84 p.
22. ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M.; PANTOJA, Alberto. *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina.* Santiago de Chile: Fiat Panis, 2013. 112 p.
23. SÁNCHEZ, José; MATA, Gerardo. *Hongos comestibles y medicinales de Iberoamérica.* México: ECOSUR, 2012. 192 p.
24. SÁNCHEZ, M.; BRAVO, A.; SORIANO, M. *Obtención de carbón activado a partir de cascarilla de cacahuete (Arachis hypogaea L.).* México: McGraw-Hill, 2014. 130 p.
25. SANTA CRUZ ORELLANA, Tania Sharaim. *Evaluación de la utilización de epicarpio de maní (Arachis hypogaea, c. linneo) con un ligante polimérico, en la aplicación de especímenes de prueba –paneles menores.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 201 p.
26. TREYBAL, R. E. *Operaciones de transferencia de masa.* Estados Unidos: CYTA-Journal, 1988. 183 p.

27. VALVERDE OROZCO, V. H. *Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo cantón Colta*. Colombia: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016. 192 p.
28. VÁSQUEZ, E. B. *Guía para compostaje y manejo de suelos*. México: Siglo del Hombre Editores S. A., 2003. 96 p.
29. WOODROOF, J. G. *Peanuts: production, processing, products*. Estados Unidos: AVI Publishing company, 1983. 132 p.
30. YEBOAH, Y. et al. *Hydrogen from biomass for urban transportation. hydrogen, fuel cells and infrastructures technologies programreview meeting*. Estados Unidos: Berkeley, 2003. 293 p.



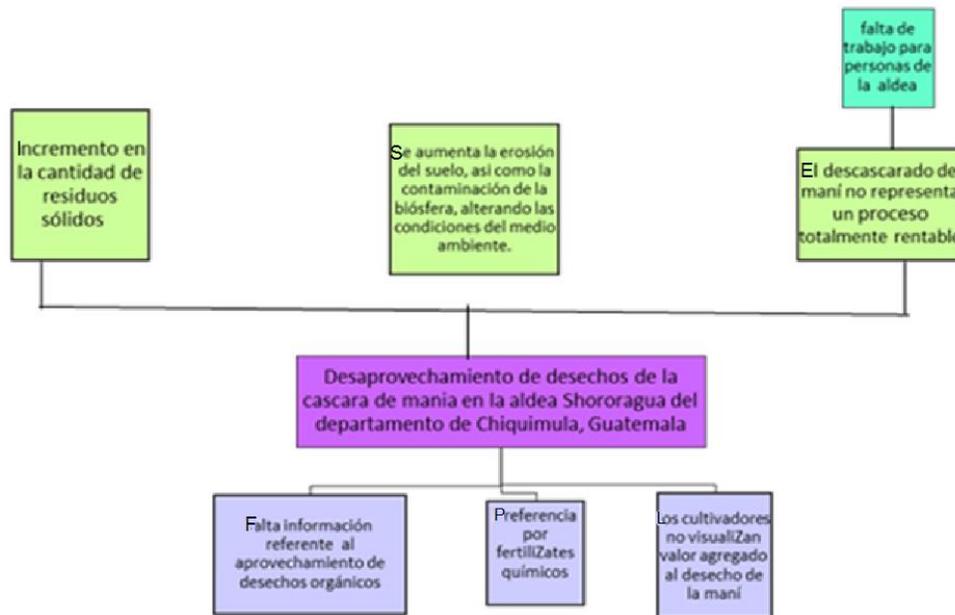
# APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Diagrama, árbol de decisiones**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Cálculo de peso seco del sustrato**

1 000 g sustrato
75 % agua
250 g peso seco de sustrato

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Cálculo de la eficiencia biológica para el sustrato con aditivo de salvado de arroz**

Repetición	sustrato	Frutos	%EB
	peso gramos	peso gramos	
1	250	56,70	22,680
2	250	141,7475	56,6990
3	250	56,6990	22,6796
4	250	85,0485	34,0194
5	250	28,3495	11,3398
6	250	56,6990	22,6796
7	250	56,6990	22,6796
8	250	99,2233	39,6893
9	250	28,3495	11,3398
10	250	28,3495	11,3398
11	250	14,1748	5,6699
12	250	28,3495	11,3398
13	250	42,5243	17,0097
14	250	28,3495	11,3398
media			21,4646

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Cálculo de la eficiencia biológica para el sustrato con aditivo de harina de soya**

Repetición	sustrato	frutos	%EB
	peso gramos	peso gramos	
1	250	56,6990	22,6796
2	250	85,0485	34,0194
3	250	28,3495	11,3398
4	250	56,6990	22,6796
5	250	14,1748	5,6699
Media			19,2777

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Cálculo de la eficiencia biológica para el sustrato de pulpa de café**

repetición	sustrato	frutos	%EB
	peso gramos	peso gramos	
1	250	28,3495	11,3398
2	250	141,7475	56,6990
3	250	56,6990	22,6796
4	250	85,0485	34,0194
5	250	141,7475	56,6990
6	250	56,6990	22,6796
7	250	56,6990	22,6796
8	250	70,8738	28,3495
9	250	85,0485	34,0194
media			32,1294

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Prueba de Duncan y Tukey para %EB**

EB			
	Tratamiento	N	Subconjunto
			1
DHS de Tukey <sup>a,b</sup>	2,00	5	19,2777
	3,00	14	21,4646
	1,00	9	32,1294
	Sig,		,187
Duncan <sup>a,b</sup>	2,00	5	19,2777
	3,00	14	21,4646
	1,00	9	32,1294
	Sig,		,098

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Análisis de comparaciones múltiples**

Comparaciones múltiples								
Variable dependiente		(I)Tratamiento	(J)Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
							Límite inferior	Límite superior
EB	DHS de Tukey	1,00	2,00	12,8518	7,83787	,248	-6,6710	32,3746
			3,00	10,6648	6,00370	,198	-4,2894	25,6190
		2,00	1,00	-12,8518	7,83787	,248	-32,3746	6,6710
			3,00	-2,1870	7,32096	,952	-20,4222	16,0483
		3,00	1,00	-10,6648	6,00370	,198	-25,6190	4,2894
			2,00	2,1870	7,32096	,952	-16,0483	20,4222
Peso	DHS de Tukey	1,00	2,00	32,1294	19,59468	,248	-16,6776	80,9364
			3,00	26,6620	15,00925	,198	-10,7235	64,0475
		2,00	1,00	-32,1294	19,59468	,248	-80,9364	16,6776
			3,00	-5,4675	18,30241	,952	-51,0557	40,1207
		3,00	1,00	-26,6620	15,00925	,198	-64,0475	10,7235
			2,00	5,4675	18,30241	,952	-40,1207	51,0557

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Asignación del diámetro del píleo por grupos**

COLOR	G1	G2	G3	Total
arroz	7	17	60	84
soya	5	7	25	37
café	25	55	50	130

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Cultivo y planta de maní**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Siembra de semilla en sustrato de cáscara de maní**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Proceso de cultivo de los cuerpos fructíferos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Cuerpos fructíferos en tiempo de fructificación intermedia**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Cuerpos fructíferos en tiempo para corte de cosecha**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Secado de cuerpos fructíferos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Material en compostaje y lixiviado**



Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis químico de materia sometida a compostaje

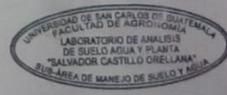
**AGRONOMIA**

INTERESADO: ROBERTO CACERES  
 PROCEDENCIA: GUATEMALA  
 FECHA DE INGRESO: 6/8/2018

FECHA DE EMISION DE INFORME: 14/8/2018 #000170

**ANALISIS QUIMICO DE SUSTRATO DE MANI**

IDENT	pH	µs /cm C.E.	%				ppm					%		C : N	HUMEDAD	% Diámetro de partículas	
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	C.O	NT			>2mm	<2mm
M-1	7.1	1,745	0.06	0.44	0.44	0.16	35	20	245	35	270	33.21	1.63	20.4 :1	59.10	86.30	13.70

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

