



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

EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (*Zea mays*) Y GRANOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (*Pleurotus ostreatus*) A NIVEL PLANTA PILOTO

Mónica Lorena Meneses Reyes

Asesorado por el Ing. Carlos Salvador Wong Daví

Guatemala, septiembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (*Zea mays*) Y GRANOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (*Pleurotus ostreatus*) A NIVEL PLANTA PILOTO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MÓNICA LORENA MENESES REYES

ASESORADO POR EL ING. CARLOS SALVADOR WONG DAVÍ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
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:

EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (*Zea mays*) Y GRANOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (*Pleurotus ostreatus*) A NIVEL PLANTA PILOTO.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 26 julio de 2016



Mónica Lorena Meneses Reyes

Guatemala, 19 de abril del 2018

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

Respetable Ingeniero Wong Davi

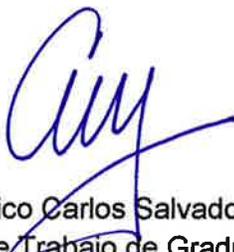
Esperando que tenga éxitos en sus actividades laborales, por este medio hago de su conocimiento que, en mi calidad de asesor del trabajo de graduación de la estudiante de la carrera de Ingeniería Química **MÓNICA LORENA MENESES REYES** quien se identifica con el registro académico 2011-22781 y carné número 2220 08490 0101, he revisado el Informe Final de Trabajo de Graduación, titulado:

“EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (Zea mays) Y GRANOS DE ARROZ (Oryza sativa) PROCEDENTE DE LA PRODUCCION DE HONGO OSTRA (Pleurotus ostreatus) A NIVEL PLANTA PILOTO.”

Por lo que considero que el presente informe cumple con los requisitos necesarios para ser presentado ante las autoridades de la Escuela de Ingeniería Química y lo doy **por aprobado**. Dejo a su consideración que la estudiante **Mónica Lorena Meneses Reyes** continúe con los trámites pertinentes para la defensa y aprobación del mismo ante la terna evaluadora y su persona.

Sin otro particular me despido de usted,

Atentamente,



Ingeniero Químico Carlos Salvador Wong Davi
Asesor de Trabajo de Graduación
Colegiado No. 561

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
COLEGIADO. No. 561



Guatemala, 09 de agosto de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.026.2018.

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 **030-2016** 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: **Mónica Lorena Meneses Reyes**.
Identificada con número de carné: **2220 08490 0101**.
Identificada con registro académico: **2011-22781**.
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:

**EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (*Zea mays*) Y
GRANOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HONGO
OSTRA (*Pleurotus ostreatus*) A NIVEL PLANTA PILOTO**

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 ENSEÑAD A TODOS”


Inga. Hilda Piedad Palma Ramos de Martini
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.027.2018

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 (la) estudiante, **MÓNICA LORENA MENESES REYES** titulado: **"EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (*Zea mays*) Y GRANOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (*Pleurotus ostreatus*) A NIVEL PLANTA PILOTO"**. 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, septiembre de 2018
FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
De Guatemala

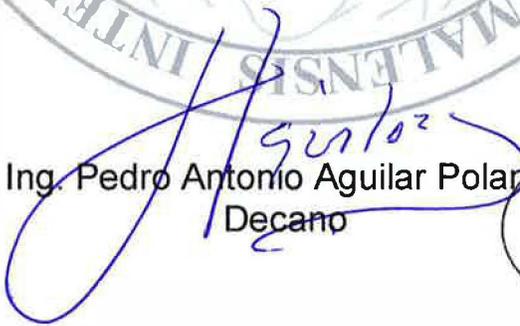


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.332.2018

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: **EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (Zea mays) Y GRANOS DE ARROZ (Oryza sativa) PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (Pleurotus ostreatus) A NIVEL PLANTA PILOTO**, presentado por la estudiante universitaria: **Mónica Lorena Meneses Reyes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Septiembre de 2018

/cc

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:

EVALUACIÓN DE LA BIOMASA FÚNGICA DE GRANOS DE MAÍZ (*Zea mays*) Y GRANOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) PROCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE HONGO OSTRA (*Pleurotus ostreatus*) A NIVEL PLANTA PILOTO.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 26 julio de 2016

Mónica Lorena Meneses Reyes

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la fuente de sabiduría y protección; por llenar mi vida de bendiciones y mostrarme su amor y misericordia cada día.
Mi madre	Martha Lydia Reyes por ser mi guía, mi ejemplo y creer en mí siempre; por todo tu apoyo, amor, confianza y consejos.
Mi padre	Sergio David Meneses por creer en mí, por tu amor y consejos.
Mi hermana	Mishell por ser mi más grande inspiración para ser mejor, por llenar mi vida de alegría, compañía y amor.
Mis abuelos	Julio, Lydia e Isaías por sus consejos y darme su sabiduría. En especial a Evangelina por ser mi segunda mamá, por su amor y por seguirme cuidando desde el cielo.
Mis tíos	Por su apoyo, consejos y cariño

Mis primos

Por su cariño, compañía y todos los buenos momentos compartidos.

Mis amigos

Leonel, Karina, Oscar, Kimberly, Kevin, Luis y Alex. Por darle alegría a mi vida, por cada momento compartido a lo largo de esta aventura. Por las risas, su apoyo y compañía.

Marvin Ortiz

Por darme todo tu apoyo desde mi primer día en la Universidad hasta llegar aquí. Por tu amor, paciencia y por creer siempre en mí. Por siempre motivarme y darme ánimos.

Familia Ortiz Vásquez

Por su cariño y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de formarme como profesional con conocimientos y experiencias para contribuir con el desarrollo de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Por haberme formado dentro de sus aulas con todas las herramientas necesarias para llegar a ser una buena profesional.

**Laboratorio de
Extracciones Vegetales
(LIEXVE)**

Por abrirme las puertas para realizar esta investigación, por su apoyo y consejos.

Área de Físicoquímica

Por darme su apoyo, cariño y consejos; por siempre abrirme las puertas.

**Asesor Ing. Carlos
Wong**

Por el tiempo dedicado, sus consejos y apoyo.

A mis amigos

Por todo su apoyo y amistad brindada a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Determinación del problema.....	4
1.3.1. Definición.....	4
1.3.2. Delimitación.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. <i>Pleurotus ostreatus</i>	5
2.1.1. Características del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	5
2.1.2. Cultivo <i>Pleurotus ostreatus</i>	6
2.1.2.1. Etapas de cultivo.....	6
2.1.2.1.1. Siembra del micelio.....	6
2.1.2.1.2. Preparación del sustrato.....	8
2.1.2.1.3. Siembra del hongo en el sustrato.....	8

	2.1.2.1.4.	Incubación del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en el sustrato.....	9
	2.1.2.2.	Condiciones de cultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	10
	2.1.2.2.1.	Temperatura.....	11
	2.1.2.2.2.	Humedad del ambiente	11
	2.1.2.2.3.	Luminosidad.....	11
	2.1.2.2.4.	Ventilación.....	11
	2.1.2.3.	Sustratos para el cultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	12
	2.1.3.	Ventajas de Hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> sobre otros hongos.....	13
2.2.		Biomasa	13
	2.2.1.	Características de la biomasa	15
	2.2.2.	Tipos de biomasa	16
	2.2.2.1.	Cultivos energéticos	16
	2.2.2.2.	Biomasa residual.....	17
	2.2.3.	Usos de la Biomasa	18
	2.2.4.	Biomasa fúngica.....	20
	2.2.5.	Relación Carbono/ Nitrógeno	22
2.3.		Secado de sólidos	22
	2.3.1.	Métodos de secado	23
	2.3.2.	Tipos de secadores	24
	2.3.3.	Condiciones para el secado	25
	2.3.3.1.	Condiciones externas.....	25
	2.3.3.2.	Condiciones internas.....	25
	2.3.4.	Curvas de secado	26

	2.3.4.1.	Curva de secado.....	26
	2.3.4.2.	Curva de velocidad	27
3.	MARCO METODOLÓGICO		29
3.1.	Variables.....		29
3.2.	Delimitación del campo de estudio		31
	3.2.1.	Área de conocimiento	31
	3.2.2.	Proceso	31
	3.2.3.	Lugar	31
3.3.	Recursos humanos disponibles.....		32
3.4.	Recursos materiales disponibles		32
	3.4.1.	Materia prima.....	32
	3.4.2.	Equipo para la evaluación de la biomasa fúngica... 32	
		3.4.2.1. Instrumentos de medición.....	32
		3.4.2.2. Equipo auxiliar	32
		3.4.2.3. Material de apoyo	33
3.5.	Técnicas cualitativas o cuantitativas.....		33
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información		33
	3.6.1.	Preparación de sustrato.....	33
	3.6.2.	Siembra del micelio	33
	3.6.3.	Preparación de biomasa	34
	3.6.4.	Secado de la biomasa	34
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información		35
3.8.	Análisis estadístico		36
3.9.	Plan de análisis de los resultados		38
	3.9.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	38
	3.9.2.	Programas a utilizar para el análisis de datos	38

4.	RESULTADOS.....	39
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
	CONCLUSIONES.....	47
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA.....	51
	APÉNDICES.....	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Setas representativas del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	6
2.	Semilla cultivada con sogo y hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	7
3.	Llenado de bolsas con el sustrato y la semilla del hongo.....	9
4.	Incubación del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	10
5.	Cascarilla de café en un beneficio de El Salvador	14
6.	Sustrato invadido por hongos <i>Pleurotus ostreatus</i>	20
7.	Cultivo de champiñón en pulpa de café	21
8.	Curva de secado	27
9.	Curva de velocidad.....	28
10.	Crecimiento de la biomasa fúngica con hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> con los sustratos evaluados.	39
11.	Relación Carbono/Nitrógeno	40
12.	Velocidad de secado de la biomasa fúngica con hongo <i>Pleurotus</i> <i>ostreatus</i> con los sustratos evaluados.	41

TABLAS

I.	Condiciones de crecimiento del <i>Pleurotus ostreatus</i>	12
II.	Características de la biomasa	16
III.	Tipos de biomasa	18
IV.	Tipos de secadores y su aplicación.....	24
V.	Descripción de las variables a utilizar	30
VI.	Peso del sustrato de maíz puro.....	35

VII.	Datos para el crecimiento del hongo en maíz puro.....	35
VIII.	Datos para el secado de biomasa de maíz puro.....	36
IX.	Datos para el análisis de varianza	36
X.	Descripción figura 1	40
XI.	Descripción figura 3	42

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ΔW	Cambio de peso
C	Carbono
σ	Desviación estándar
d	Días
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celcius
g	Gramos
h	Horas
X	Humedad
Kg	Kilogramo
lb	Libras
\bar{X}	Media aritmética
N	Nitrógeno
W	Peso
%	Porcentaje
%C	Porcentaje ceniza
%P	Porcentaje proteína
pH	Potencial de hidrogeno
C/N	Relación carbono nitrógeno
Σ	Sumatoria
T	Temperatura
t	Tiempo
V	Velocidad de secado

GLOSARIO

Biocombustibles	Tipo de combustible que consiste de una mezcla de sustancias orgánicas, conformadas a partir de átomos de hidrógeno y de carbono, y que principalmente, es utilizado en aquellos motores conocidos como de combustión interna.
Biomasa	Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
Cultivos energéticos	Consisten en plantaciones o siembras de especies con determinadas características, como la rapidez de crecimiento y la capacidad de rebrote después del corte, con el objeto de producir una mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie y tiempo.
Curvas de secado	Se obtienen a nivel de laboratorio y puede tenerse una idea del tiempo de secado, consumo de energía, mecanismo de migración de humedad, condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso.
Densidad	Magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

Energía renovable	Energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque se regeneran por medios naturales.
Humedad	Cantidad o porcentaje de agua que está presente en un cuerpo o sólido.
Micelio	Masa de hifas que constituye el cuerpo vegetativo de un hongo, absorben nutrientes, crecen hacia abajo, para cumplir su función.
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Especie de hongo, se distribuye en zonas templadas, es ampliamente comestible por su sabor y la facilidad de su identificación.
Residuo	Material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servido para realizar un determinado trabajo, pero que puede presentar algún valor para otro trabajo.
Secado	Proceso que consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un sólido con el fin de reducir el contenido líquido.
Sustrato	Superficie en la que una planta o un animal vivo.

Velocidad de secado Cambio de humedad en un sólido respecto al tiempo.
Sus unidades son (peso de agua)/(área*tiempo).

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se evaluó la biomasa fúngica de maíz y arroz procedente de la producción de hongo ostra, por medio de curvas de secado, la relación C/N y por medio de modelos matemáticos sobre el crecimiento de la biomasa en función de los sustratos analizados.

Como sustrato se utilizó maíz y arroz. Las proporciones entre ellos se variaron: 100% maíz, 100% arroz, mezcla de 50% maíz y 50% arroz, mezcla de 75% maíz y 25% arroz y mezcla de 25% maíz y 75% arroz.

El proceso siguió esta secuencia: primero se sembró el micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* en granos de maíz y arroz. La muestra se secó cada tres días para obtener modelos matemáticos de su crecimiento. Después de cosechar el hongo se realizó un análisis de Carbono y Nitrógeno dentro de la biomasa y se sometió a un proceso de secado para determinar la velocidad de secado de la biomasa.

Se evaluaron los datos necesarios para determinar su producción y uso industrial para utilizarlo como materia prima de diversos productos ecológicos y aprovecharlo para generar ganancias al ser procesado como compost, alimento animal y biocombustible.

Se determinó por medio de los modelos matemáticos obtenidos del crecimiento de la biomasa, que la muestra que tuvo un crecimiento mayor y una menor relación Carbono/Nitrógeno fue la mezcla de 50% maíz y 50% arroz. De

igual forma, la muestra que presenta una velocidad de secado mayor fue la muestra de 100% maíz como sustrato.

Con los resultados obtenidos se puede determinar que la mejor muestra para trabajarla como biocombustible y fertilizante es la muestra con proporción 1:1 de los sustratos evaluados. La muestra de maíz se determinó que es la mejor para trabajarla para briquetas.

OBJETIVOS

General

Evaluar las características de la biomasa fúngica de granos de maíz y arroz procedente de la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) a nivel de planta piloto.

Específicos

1. Determinar la velocidad de secado de la biomasa fúngica obtenida de la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*.
2. Determinar la relación Carbono/Nitrógeno de los sustratos evaluados.
3. Obtener modelos matemáticos del crecimiento de la biomasa fúngica con hongo *Pleurotus ostreatus* con los sustratos evaluados.

Hipótesis

La biomasa fúngica de granos de maíz (*Zea mays*) y granos de arroz (*Oryza sativa*) procedente de la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) puede ser utilizada como materia prima, evaluando sus características y variando las proporciones de los granos.

Variable crecimiento de la biomasa

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa al 95% de confianza en el crecimiento de la biomasa con distintas proporciones de los componentes de la mezcla (maíz y arroz).

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa al 95% de confiabilidad en el crecimiento de la biomasa con distintas proporciones de los componentes de la mezcla (maíz y arroz).

Variable velocidad de secado de la biomasa

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa al 95% de confianza en la velocidad de secado de la biomasa con distintas proporciones de los componentes de la mezcla (maíz y arroz).

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa estadística al 95% de confiabilidad en la velocidad de secado de la biomasa con distintas proporciones de los componentes de la mezcla (maíz y arroz).

Variable relación C/N de la biomasa

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa estadística al 95% de confiabilidad en la relación C/N de la biomasa con distintas proporciones de los componentes de la mezcla (maíz y arroz).

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa estadística al 95% de confiabilidad en la relación C/N de la biomasa con distintas proporciones de los componentes de la mezcla (maíz y arroz).

INTRODUCCIÓN

Existen una gran cantidad de residuos que no son aprovechados actualmente, pero que al ser procesados nuevamente pueden adquirir un gran valor comercial. Este es el caso de la biomasa fúngica, ya que por ser un proceso mayormente artesanal y rural no se han optimizado los desechos que quedan después de la cosecha del hongo comestible. Este recurso puede generar diversos productos amigables con el ambiente.

La biomasa es materia orgánica considerada como desecho que se puede obtener de diversas formas, como residuos agrícolas, cultivos energéticos, residuos industriales, residuos vegetales, etc. Pero que en su interior contiene energía proveniente de la fotosíntesis. Por ello, se puede considerar como una forma de energía alternativa.

La biomasa fúngica que se evaluará en esta investigación es biomasa de granos de maíz y granos de arroz procedente de la producción del hongo ostra. El hongo ostra es comestible; en Guatemala se utiliza ampliamente por su facilidad de cultivo. Gracias a esta característica del hongo puede ser inoculado en la mayoría de granos y desechos orgánicos.

Uno de los principales usos de la biomasa como energía alternativa es la producción de biodiesel. Sin embargo, se puede utilizar de otras formas, como briquetas para construcción, abono natural, alimento para animales y combustible al ser quemado directamente. La efectividad de la biomasa para crear estos productos dependerá de las características de la biomasa.

Debido a que no se han realizado estudios numerosos sobre la biomasa fúngica, el propósito será generar información sobre la biomasa fúngica de granos de maíz y arroz obtenida por la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Por ello, se obtendrán curvas de secado, la relación de C/N y los modelos matemáticos del crecimiento de la biomasa fúngica variando las proporciones de los sustratos evaluados.

Los datos obtenidos a partir de esta investigación serán utilizados para estudios posteriores sobre el uso de la biomasa fúngica a nivel industrial para el aprovechamiento de estos residuos y así ampliar el campo de estudio sobre la biomasa.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Existen muchos recursos que no son aprovechados totalmente, tal es el caso de la biomasa fúngica. En Guatemala este es un proceso artesanal que no se ha desarrollado industrialmente. Existen varias áreas de la industria donde se puede utilizar este producto. Actualmente, se han realizado varios estudios sobre la obtención y utilización industrial de la biomasa fúngica, como son:

1. En el 2000, Andrés France y Juan Antonio Cañumir de la Universidad de Concepción en Chile estudiaron la producción de Hongo Ostra en forma artesanal. Se realizó este trabajo para plantear los pasos a seguir para obtener los cuerpos fructíferos del hongo.
2. En el año 2000, en la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala, Alfredo Aldana Martínez realizó un estudio sobre la eficiencia de producir el inóculo de Hongo *Pleurotus ostreatus* en 5 tipos de granos. Este estudio se realizó para determinar en qué grano se presentaba un mayor crecimiento del hongo.
3. En el 2012, Norbelis Aguinagalde de la Universidad Nacional Experimental de Guayana estudió la obtención de biomasa producida por hongos degradadores de madera en medio sólidos con el fin de determinar el crecimiento del hongo.

4. En el año 1991 en Madrid, España en la Universidad Complutense de Madrid Domingo Marquina Díaz realizó un estudio de la producción de biomasa con hongos celulíticos. Dicha investigación consistió en la obtención de biomasa para la degradación de residuos celulósicos.
5. En el 2014, Kenny Villatoro Arrecis de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó una investigación sobre la implementación de una caldera de biomasa en una empresa textil. Para este estudio se utilizó leña y cartón como biomasa teniendo un ahorro del 80% en relación a una caldera de diésel.
6. En el año 2010 en la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala Juan Sebastián Regil Wald realizó un estudio sobre la factibilidad para la producción de energía eléctrica utilizando biomasa de Eucalipto. Dicha investigación se centró en la utilización de Eucalipto para ser quemada en Calderas de ingenios y obtener energía eléctrica a menor costo.
7. En 1982 en Madrid España, J. Fernández publicó un libro sobre el aprovechamiento energético de la biomasa. En este libro la biomasa juega un papel principal como fuente de energía a menor costo y con menos emisión de CO₂.

1.2. Justificación

La producción de hongos comestibles es una práctica muy frecuente en Guatemala. Esta producción fue principalmente artesanal y elaborada por poblaciones rurales. Existe una gran variedad de hongos comestibles que se cosechan en el país, entre las más comunes están los hongos *Pleurotus* y su cepa más frecuente *Ostreatus* debido a su facilidad de siembra, ya que este hongo puede reproducirse en cualquier tipo de grano.

Es común que en Guatemala se utilicen granos básicos como el maíz, arroz, cáscara de cacahuate, olote y sogo para su producción. Luego de cosechar los hongos, estos sustratos de crecimiento son desechados, sin embargo, este sustrato puede ser materia prima para otros productos como biodiesel, fertilizante natural, briquetas para construcción, o como fuente de energía.

Actualmente, no se ha desarrollado este tipo de estudio, pues ha sido de mayor interés la producción del hongo comestible. Sin embargo, en la búsqueda de nuevas formas de reutilizar los desechos, se ha notado que el sustrato luego de la cosecha del hongo produce una biomasa fácil de manejar y que permite crear otros productos de manera ecológica.

En la búsqueda de originar nuevos productos amigables con el ambiente, la biomasa fúngica no ha tenido un gran avance debido a su producción artesanal; sin embargo, se puede producir de forma industrial para utilizarla como materia prima, de esta manera, se deja la cosecha de hongos comestibles en un segundo plano.

Para llevar este proceso a nivel industrial es necesario analizar las variables que permitan obtener la mayor cantidad de biomasa, y que esta cumpla con las condiciones requeridas para utilizarla como materia prima, por lo que es necesario evaluar las características de la biomasa fúngica obtenida.

1.3. Determinación del problema

1.3.1. Definición

El siguiente trabajo de graduación surge debido a la necesidad de aprovechar desechos que pueden ser utilizados para crear otros productos amigables con el ambiente, por lo cual es necesario evaluar las variables que permiten la producción del desecho para poder industrializar el proceso y obtener la nueva materia prima.

1.3.2. Delimitación

El trabajo de tesis se limitará a la evaluación de las variables que se presentan en la de biomasa fúngica obtenida con el hongo *Pleurotus ostreatus* en sustratos de maíz y arroz. Se utilizarán cepas del hongo ostra provenientes Xelajú, Quetzaltenango. Dicho estudio se realizará en el Laboratorio de Extracciones Vegetales (LIEXVE) de la Facultad de Ingeniería y en el Laboratorio de Bromatología de Facultad de Veterinaria y Zootecnia de la Universidad San Carlos de Guatemala.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pleurotus ostreatus

2.1.1. Características del hongo Pleurotus ostreatus

Este tipo de hongo presenta un sombrero o píleo de gran proporción en relación con el estipe, que es corto y grueso, de superficie lisa y de color gris o blanco; la carnosidad es blanda y blanca. Una de las principales características organolépticas de este hongo es su aroma característico a anís; tiene un sabor dulce y agradable por lo cual es muy utilizado en la gastronomía.

El hongo *Pleurotus ostreatus*, conocido también como hongo ostra, es una especie comestible que degrada la lignina por lo que tiene la habilidad de colonizar cualquier rastrojo o grano. Por eso es factible sembrarlo en cualquier tipo de ambiente y sin necesidad de agregarle fertilizantes químicos. Por esta razón, son conocidos como agentes de descomposición ya que pueden utilizar como fuente de crecimiento cualquier tipo de desecho de plantas, sin someterlas a procesos de degradación previos.

Figura 1. **Setas representativas del hongo *Pleurotus ostreatus***



Fuente: ARDÓN, Carlos. Evaluación de pericarpio de Jacaranda y pasto estrella africana, para el cultivo artesanal del hongo ostra. P.20.

2.1.2. Cultivo *Pleurotus ostreatus*

2.1.2.1. Etapas de cultivo

El cultivo consta de 5 etapas fundamentales, las cuales son: obtención del micelio, preparación de la semilla, siembra, incubación y fructificación. Las primeras tres etapas se deben realizar en condiciones de laboratorio.

2.1.2.1.1. Siembra del micelio

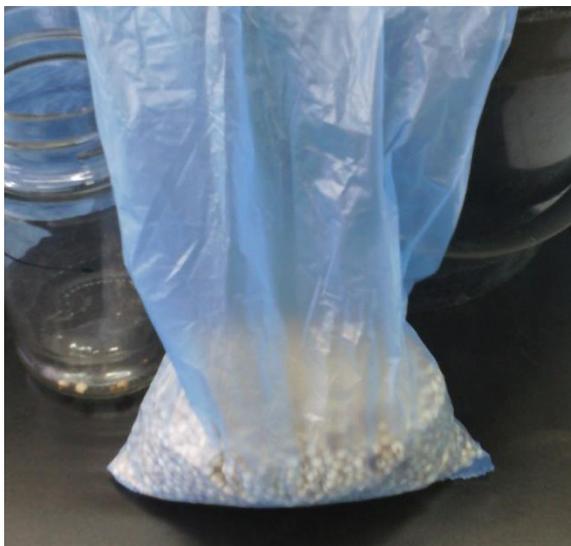
El micelio es inoculado en un sistema productivo, el cual puede ser de paja, granos, troncos o cualquier otro tipo de material orgánico. El grano debe estar limpio de plagas y ser hidratado con agua, aproximadamente, por 16 horas y luego de esto se debe escurrir para eliminar el exceso de agua. Se pesan 200 gramos del sustrato intermedio y se colocan en bolsas de polietileno; luego, se esterilizan en autoclave a 121°C durante 30 minutos.

Es recomendable que el grano que se utiliza para obtener la semilla se encuentre libre de plaguicidas, insecticidas y sin residuos de compuestos químicos que puedan afectar su composición natural y, por consiguiente, el crecimiento del hongo.

A las bolsas esterilizadas y frías se le coloca un micelio proveniente del hongo de dos centímetros de cada lado y se cubre con los granos o el sistema productivo que se utilizará. Este procedimiento se debe realizar con extremada limpieza para que no se contamine el hongo con otros microorganismos y, de ser posible, se debe realizar en una campana de laboratorio y esterilizar todos los utensilios necesarios.

Concluida la siembra se debe incubar el micelio durante 15-20 días a una temperatura de 26°C y de preferencia en una habitación en completa oscuridad.

Figura 2. **Semilla cultivada con sogo y hongo *Pleurotusostreatus***



Fuente: Elaboración Propia, laboratorio microbiología Facultad de farmacia, USAC.

2.1.2.1.2. Preparación del sustrato

El sustrato para que crezca el *Pleurotus ostretus* puede ser cualquier tipo de material vegetal. Se han realizado diversos estudios sobre los sustratos para que el hongo crezca y por sus características se ha observado que se pueden utilizar granos, pajas, troncos, cáscaras, etc.

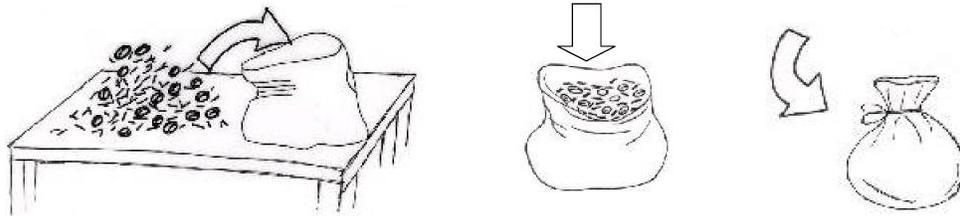
Es necesario remojar el sustrato en agua por 24 horas para darle la humedad necesaria para el crecimiento del hongo, sin embargo, no debe tener demasiada agua para evitar fermentación, por lo que se debe escurrir el exceso de agua. Se coloca el sustrato en bolsas de polietileno de 50 libras y se les agrega agua a 90°C hasta que cubra la totalidad del sustrato y se trata de mantener esa temperatura al menos por 30 minutos, para pasteurizar el sustrato.

2.1.2.1.3. Siembra del hongo en el sustrato

Al tener preparado el sustrato en las bolsas de polietileno y enfriado a temperatura ambiente se le agrega la semilla, alternando capas de sustrato y capas de la semilla. Este proceso, debe realizarse con limpieza para evitar cualquier tipo de contaminación que pueda afectar con el crecimiento del hongo.

Al terminar la siembra, las bolsas se deben cerrar con un nudo o un lazo, teniendo cuidado de no dejar aire dentro de las bolsas para evitar una fermentación bacteriana.

Figura 3. **Llenado de bolsas con el sustrato y la semilla del hongo**



Fuente: ARDÓN, Carlos. Evaluación de pericarpio de Jacaranda y pasto estrella africana, para el cultivo artesanal del hongo ostra. P.30.

2.1.2.1.4. Incubación del hongo Pleurotus ostreatus en el sustrato

La incubación se realizará por 20 días a una temperatura entre 24-28°C y en un cuarto especial a total oscuridad. Se deben realizar perforaciones regularmente a las bolsas de sustratos para dejar escapar el agua que se encuentre en exceso en el sustrato. Es recomendable mover las bolsas para que el contenido de estas sea lo más homogénea posible y facilitar la salida del agua.

Este paso es en el cual se debe tener un mayor control sobre las condiciones del ambiente para los hongos, ya que en esta etapa es cuando se producen los cuerpos fructíferos y el sustrato se convierte en la biomasa procesada por el crecimiento del hongo.

Al aparecer los cuerpos fructíferos, es necesario abrir las bolsas que los contienen para que estos puedan crecer con mayor libertad y que el CO² que producen pueda ser liberado e intercambiado por oxígeno limpio.

Figura 4. **Incubación del hongo *Pleurotus ostreatus***



Fuente: GODEAS, A. Actividad y biomasa fúngica en suelos agrícolas bajo distintos manejos P.90.

2.1.2.2. Condiciones de cultivo de *Pleurotus ostreatus*

Para que exista un buen crecimiento del hongo en cualquier sustrato que se utilice, se deben cumplir con ciertas condiciones para obtener un proceso óptimo, tanto del hongo como para la conversión del sustrato a biomasa. Estas condiciones son las siguientes:

2.1.2.2.1. Temperatura

La temperatura ideal para el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* debe ser de 24-26°C. Las temperaturas mayores pueden causar la muerte del micelio y las temperaturas inferiores a esta provocan que el tiempo de incubación aumente, lo que retrasa la producción del hongo.

2.1.2.2.2. Humedad del ambiente

El hongo necesita un ambiente bastante húmedo para crecer, por lo que el ambiente de incubación del hongo debe tener una humedad aproximada del 80%. Sin embargo, no se debe exceder para que no exista contaminación de otros microorganismos en el ambiente de crecimiento del hongo.

2.1.2.2.3. Luminosidad

Debido a las características del hongo *Pleurotus ostreatus* no se necesita luz para su crecimiento, por lo que la habitación debe encontrarse en total oscuridad para disminuir el tiempo de incubación del hongo, así como evita que entren insectos a la habitación.

2.1.2.2.4. Ventilación

El ambiente donde se encuentra el hongo debe ser ventilado, pero sin el riesgo que el hongo se pueda poner en contacto con partículas contaminantes. Por ello, es necesario una aireación artificial que permita sacar el CO₂. Como el hongo *Pleurotus* soporta altas concentraciones de dióxido de carbono con colocar un ventilador pequeño que circule 3 o 4 veces la habitación por día será suficiente.

Tabla I. **Condiciones de crecimiento del *Pleurotus ostreatus***

Condición	Cantidad
Temperatura	24-26°C
Humedad	80%
pH	5-7
Luz	Nula
Ventilación	3-4 veces la habitación

Fuente: ALDANA, ALFREDO. Comparación de la eficiencia de producción de inóculo primario del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, en cinco granos. P.18.

2.1.2.3. Sustratos para el cultivo de *Pleurotus Ostreatus*

Este es un hongo que crece en casi cualquier compuesto orgánico que presente la humedad necesaria para su crecimiento. Sin embargo, se han evaluado diversos tipos de material orgánico para su crecimiento y se ha demostrado que este hongo crece mejor en los siguientes sustratos:

- Pulpa de café
- Paja de trigo
- Sogo
- Maíz
- Arroz
- Cáscara de cacahuate
- Troncos
- Rastrojos de maíz.

2.1.3. Ventajas de Hongo Pleurotus ostreatus sobre otros hongos

- Por su propiedad de invadir cualquier material orgánico, permite utilizar desechos vegetales para su producción por lo que se pueden reutilizar los residuos.
- Su crecimiento es rápido a comparación de otros hongos comestibles produciendo un óptimo rendimiento
- Tiene la propiedad de desplazar otros organismos por lo que no se deben realizar grandes procedimientos para eliminar contaminantes.
- El subproducto después de la cosecha (biomasa), presenta una baja relación Carbono/Nitrógeno lo que permita que sea altamente utilizable en abonos, briquetas de construcción, comida para animales y briquetas para ser quemadas en calderas.

2.2. Biomasa

La biomasa es materia orgánica proveniente de desechos o residuos vegetales, que puede ser aprovechada energéticamente o reutilizada en otros productos. Esto es posible ya que la energía producida en la fotosíntesis, queda almacenada dentro de biomasa en forma de materia orgánica.

La biomasa es una fuente de energía renovable formada por fuentes biológicas. Esta es la energía renovable que más se utiliza y la que aporta mayor energía en las necesidades de la humanidad. Se ha observado que la

biomasa es una excelente forma de aprovechamiento de los residuos, ya que a partir de ella se pueden obtener diversos productos al ser procesados y como fuente de energía ya que se adapta a los métodos de utilización de los combustibles actuales, por lo que se pueden obtener combustibles sólidos, líquidos y gaseosos a partir de esta.

La fuente más importante para la obtención de la biomasa son los campos agrícolas y forestales, ya que es en este lugar donde se producen grandes cantidades de residuos vegetales, como rastrojos de caña, de trigo, cascarillas de arroz, rastros de maíz, etc.

Figura 5. **Cascarilla de café en un beneficio de El Salvador**



Fuente: FOCER. Manuales sobre energía renovable Biomasa. P.4.

La utilización de biomasa en países que tienen como base de su economía la agricultura, ofrece una reducción en los costos de operación debido a su uso energético. Y es una fuente de generadora de nuevos ingresos al ser aprovechada la materia orgánica la producción de nueva materia prima. Por lo consiguiente, es una solución a los problemas ambientales que generan los desechos orgánicos.

2.2.1. Características de la biomasa

- **Humedad:** para que la biomasa puede ser manejada y procesada de una forma eficiente es necesario que tenga una humedad menor al 30%, por lo que se deben realizar operaciones para eliminar el agua en exceso.
- **Composición química y física:** las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto que se puede generar. Las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.
- **Densidad:** se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso

Tabla II. **Características de la biomasa**

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas. Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Polvo, sólido, HR ² >50% Polvo sólido, HR 30 - 45% Sólido, HR > 55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café). Estiércol. Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido, alto contenido humedad Polvo, HR < 25% Sólido, alto contenido humedad Sólido HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales. Grasas y aceites vegetales.	Sólido, humedad moderada Sólido, alto contenido humedad Líquido Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras. Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales). Basura orgánica (madera).	Líquido Sólido, alto contenido humedad Sólido alto contenido humedad

Fuente: FOCER. Manuales sobre energía renovable Biomasa. P.10.

2.2.2. Tipos de biomasa

2.2.2.1. Cultivos energéticos

Son plantaciones de cualquier tipo de vegetal que tiene como finalidad, ser utilizadas como biomasa sin tener ningún otro beneficio o producto. El tipo de plantación depende del clima, el área y topografía del lugar donde se realizarán las plantaciones. Para lograr una producción óptima se recomienda utilizar plantas de crecimiento rápido y que no requieran mayores cuidados para ello, algunas de estas plantaciones pueden ser: cereales, caña de azúcar, semillas oleaginosas, etc.

2.2.2.2. Biomasa residual

Se obtiene de las actividades que generan un desecho de materia orgánica. Este tipo de biomasa reduce la contaminación del suelo y sus costos suelen ser bajos, lo que permite que puedan ser utilizados en otros productos. Entre los residuos, de los cuales se puede obtener biomasa se encuentran los siguientes:

- Residuos forestales: los residuos del aprovechamiento de los bosques son una fuente muy importante de recursos de biomasa. Entre ellos se encuentran restos de aserrín, virutas, recortes y cortezas, que se generan tanto en el campo como en las industrias donde se aprovecha la madera.
- Residuos agrícolas: existen de muchos tipos, tales como los restos de árboles frutales y sus frutos, los residuos de cultivos herbáceos como la paja de trigo, paja de maíz, etc. Parte de estos residuos se queda en el campo, sin embargo, estos residuos pueden ser usados como biomasa.
- Residuos industriales: estos residuos son eliminados de industrias que trabajan con la materia orgánica, pero que ya no los pueden aprovechar.

Tabla III. **Tipos de biomasa**

Recursos de biomasa	Tipo de residuo
Residuos forestales	Restos de aserrín: corteza, aserrín, astillas
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales
	Cáscara y polvo de granos secos (café)
	Estiércol
	Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras
	maleza, pastura
Residuos industriales	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales
	Residuos de procesamiento de carnes
	Aguas de lavado y precodio de carnes y vegetales
	Grasas y aceites vegetales
	Aguas negras
	Desechos domésticos orgánicos
	Basura orgánica

Fuente: REGIL, JUAN SEBASTIÁN. Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de Eucalipto. P.5.

2.2.3. Usos de la Biomasa

La biomasa puede ser aprovechada en diversas formas y para distintos usos finales, algunos de estos se mencionan a continuación:

- Biocombustibles líquidos: los combustibles líquidos se utilizan en los vehículos de transporte, entre estos se incluyen el biodiesel y el bioetanol. El prefijo bio- indica que provienen de materia orgánica. La biomasa se debe someter a procesos químicos para transformarla en materia prima para la producción de biocombustibles líquidos.

- Biocombustibles gaseosos: la biomasa se utiliza para la producción de biogás, que es un combustible gaseoso, a partir de la descomposición de la materia orgánica por la digestión anaerobia de las bacterias. Una ventaja del biogás es que se puede obtener de forma local.
- Combustibles sólidos: en este caso, la biomasa no se somete a ningún proceso químico, sino que se quema directamente un horno o caldera. Algunas desventajas de este proceso es la emisión de gases de combustión al ambiente y su alto costo de transporte.
- Formación de briquetas de construcción: la biomasa puede ser utilizada para la construcción al ser secada, compactada y mezclada con cemento para la formación de briquetas. Esta es una forma ecológica del aprovechamiento de residuos a un bajo costo.
- Abonos: al ser una fuente de materia orgánica, la biomasa se puede utilizar para la regeneración del suelo de cultivos. Es recomendable agregarle otros nutrientes, como el nitrógeno, urea, carbono, etc. para que la regeneración de nutrientes del suelo tengan mejores resultados y con un tiempo más corto.
- Alimentación animal: la biomasa se puede utilizar como alimentación de animales, especialmente, de ganado, por su alto contenido en fibra y proteínas proveniente del proceso de fotosíntesis. La mejor forma de utilizar la biomasa como alimento bobino, es mezclándola con la comida regular del animal en una proporción 1:3 de biomasa respecto al alimento regular, que puede ser granos, pastos, concentrado, etc.

2.2.4. Biomasa fúngica

Se obtiene por la invasión del micelio del hongo en un sustrato orgánico. Luego de la siembra del micelio del hongo en el sustrato, este se va llenando de hongo y al finalizar su crecimiento, el sustrato invadido, puede ser utilizado como biomasa y ser transformado por procesos químicos para convertirse en un nuevo producto o en una nueva materia prima.

Figura 6. **Sustrato invadido por hongos *Pleurotus ostreatus***



Fuente: Cultivo de hongos *Pleurotus Ostreatus*, <http://www.cuexcomate.com/2012/04/mmmcultivo-de-hongos-comestibles.html>, Consulta: marzo de 2016.

El tipo de sustrato que se utilice para la producción del hongo establecerá las características y la calidad de la biomasa que se obtendrá al final de su cosecha. El tipo de hongo que se utilice determina las condiciones para que tenga un crecimiento e invasión de la biomasa de forma adecuada. Estas características pueden ser la humedad, temperatura, luminosidad, etc.

Es importante identificar las necesidades del hongo porque, a partir de ellas, se elige el sustrato adecuado para su crecimiento, así como tener los cuidados necesarios para evitar una contaminación con otros hongos o una fermentación bacteriana.

Una de las principales ventajas de utilizar biomasa fúngica es que se reduce la contaminación del suelo, ya que después de la cosecha de los hongos, el sustrato es eliminado. Debido a esto su costo es realmente bajo y es una forma de contribuir al aprovechamiento de los residuos.

La biomasa fúngica es considerada del tipo de residuos agrícolas, ya que los hongos que se cosechan en forma masiva, son comestibles o medicinales, como el champiñón, hongos ostras, shiitake, etc.

Figura 7. Cultivo de champiñón en pulpa de café



Fuente: Cultivo de hongos comestibles, <http://www.flordeplanta.com.ar/siembra/como-cultivar-setas-comestibles-en-casa/>, Consulta: abril de 2016.

2.2.5. Relación Carbono/ Nitrógeno

Esta relación indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno. Usualmente, la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un residuo orgánico es biodegradable pero con el carbono orgánico ocurre lo contrario ya que una gran parte se presenta en compuestos no biodegradables que impiden su disponibilidad en la agricultura.

Estos componentes son importantes para todo organismo ya que el carbono y el nitrógeno son dos elementos necesarios para el desarrollo de la vida, ya que afectan a todos los procesos biológicos. El carbono fijado por la biomasa proviene del CO₂ atmosférico, el cual, a su vez procede de la fotosíntesis. La relación C/N se utiliza para medir la biomasa y la evolución de la materia orgánica en los estudios de fertilidad del suelo.

Para que la biomasa pueda ser utilizada como materia prima para otros productos, la relación C/N que contenga debe ser lo menor posible, es decir que debe haber un porcentaje mayor de nitrógeno en su mezcla que el porcentaje de carbono.

2.3. Secado de sólidos

El secado de sólidos es el proceso en el cual se separan pequeñas cantidades de líquido, generalmente agua, para que el sólido presente una humedad muy baja o nula. Este proceso se realiza, habitualmente, como último paso de la transformación del sólido y queda listo para ser empaquetado.

Existen métodos mecánicos y métodos térmicos para secar sólidos. Entre los métodos mecánicos se pueden mencionar las centrifugas y prensas. El método térmico más utilizado es la evaporación. Los métodos térmicos tienen un costo mayor a los mecánicos, por lo que se sugiere que el sólido pase primero por métodos mecánicos y la evaporación sea la etapa final para obtener un sólido totalmente seco.

2.3.1. Métodos de secado

Existen varios métodos de secado, los cuales se clasifican según sus características, como el modo de operación, el método de obtención de calor y por las sustancias que se desea secar. Algunos de estos métodos son los siguientes:

- Secado por lotes: este tipo de secado se realiza en un periodo de tiempo determinado. Es un proceso caro, en comparación a los demás métodos, por lo que se utiliza para productos a pequeñas escalas y para investigaciones.
- Secado continuo: en este proceso la materia entra al equipo de forma continua, por lo que sale el producto sale con una humedad más uniforme. El costo de este secado es bajo en comparación al secado por lotes.
- Secado directo: en este tipo de secado el calor está en contacto directo con el sólido que se desea secar. El sólido se mueve a través del secador, en paralelo o en contracorriente, mientras está en contacto del vapor.

- Por la naturaleza del sólido: los tipos de sólidos que se pueden secar son: rígidos, frágiles, fuertes, flexibles o granular. La forma física del sólido es una condición de mucha influencia sobre el método de secado y el tipo de secador que se debe utilizar.

2.3.2. Tipos de secadores

Tabla IV. Tipos de secadores y su aplicación

Tipo de secador	Aplicación
Secador de horno	Frutas y maltas
Secador de cabina	Vegetales y frutas
Bandejas	Sólidos a escala piloto
Túnel	Hortalizas y frutas
Cinta continua	Sólidos granulares
Lecho fluidizado	Sólidos granulares y troceados
Secador rotatorio	Productos alimenticios como semillas
Atomizador	Derivados de leche, levaduras y productos farmacéuticos
Secador de vacío	Jugos concentrados
Continuo de infrarrojo	Pastas, almidones, especias

Fuente: Secado de sólidos, <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4122/Capitulo4.pdf>, Consulta abril de 2016.

2.3.3. Condiciones para el secado

2.3.3.1. Condiciones externas

Estas condiciones no dependen del sólido que se desea secar, sino de la transferencia de masa del sólido con el gas que se utilice y de la temperatura a la cual se encuentre el gas, ya que debe superar la resistencia que provoca la capa límite del sólido. Algunas condiciones externas que se deben tomar en cuenta para obtener un buen proceso de secado son:

- Temperatura
- Presión
- Flujo de aire
- Área de la superficie expuesta
- Humedad del aire

2.3.3.2. Condiciones Internas

Las condiciones internas dependen del sólido que se someterá al secado. Entre estas condiciones se pueden mencionar las siguientes:

- Forma del sólido
- Temperatura
- Humedad del sólido
- Área del sólido por unidad de volumen

2.3.4. Curvas de secado

Los datos necesarios para realizar las curvas de secado se obtienen bajo condiciones de laboratorio midiendo el cambio de masa, temperatura y el tiempo transcurrido.

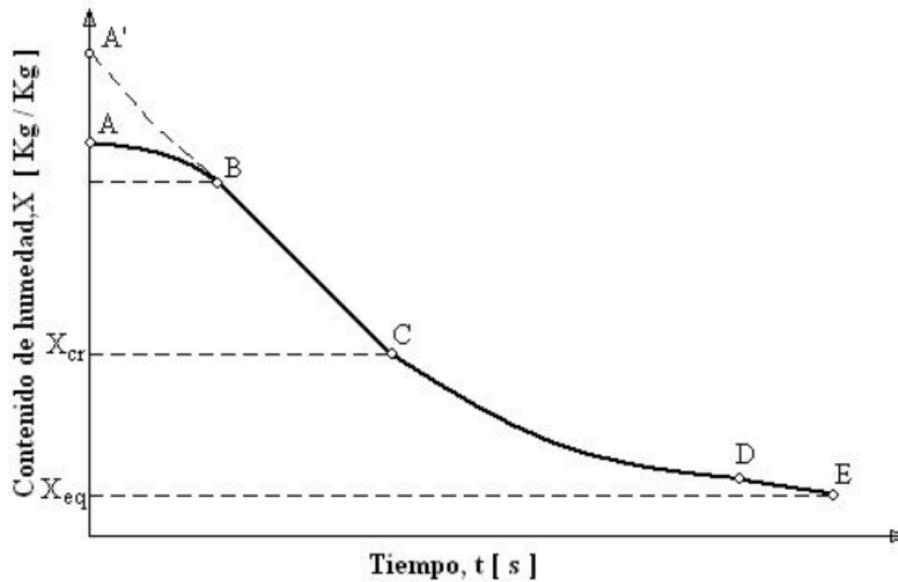
Los diagramas que describen de mejor forma el proceso de secado son los siguientes:

- Contenido de humedad en función del tiempo de secado (curva de secado).
- Velocidad de secado en función del contenido de humedad del material (curva de velocidad).
- Temperatura del sólido en función de la humedad. (curva de temperatura).

2.3.4.1. Curva de secado

Esta curva describe la cantidad de humedad que presenta el sólido en función del tiempo en que transcurre el proceso. Esta curva consta de cuatro puntos importantes. El primero es el punto inicial de secado, en el cual la humedad es la más alta del gráfico. El segundo punto importante se encuentra justo antes de que la curva tome una tendencia lineal donde la velocidad de secado es constante. El siguiente punto importante se encuentra cuando la línea recta se empieza a curvar y forma una asíntota. El último punto importante se encuentra en el valor mínimo de humedad y donde esta ya no tiene ningún cambio. En este punto el sólido se encuentra seco.

Figura 8. **Curva de secado**

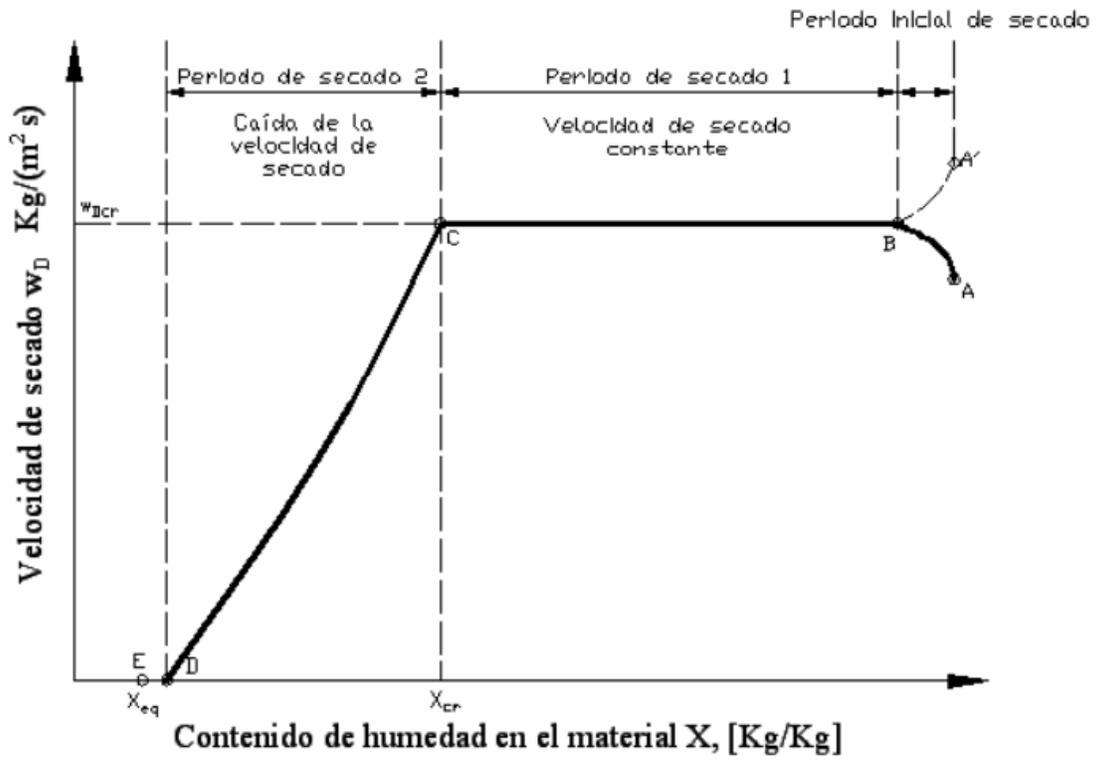


Fuente: DÁVILA, N. Proceso de secado. P.18

2.3.4.2. **Curva de velocidad**

Este gráfico muestra la velocidad con la que se realiza el secado del sólido en función del contenido de humedad. Cuenta con dos regiones importantes, la región de velocidad constante y la caída de la velocidad. Generalmente, se realiza en función de la humedad del sólido, sin embargo, se puede realizar también en función del tiempo del proceso.

Figura 9. Curva de velocidad



Fuente: DÁVILA, N. Proceso de secado. P.19.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

En la siguiente tabla se describen las variables necesarias en el proceso.

Tabla V. Descripción de las variables por utilizar

No	Variable	Unidad	Factor potencial del experimento		Tipo de variable	
			Constante	No constante	Dependiente	independiente
1	Peso sustrato maíz	Kg	X			X
2	Peso sustrato de arroz	Kg	X			X
3	Peso mezcla de sustratos	Kg	X			X
4	Peso micelio del hongo	Kg	X			X
5	Peso biomasa húmeda	Kg		X	X	
6	Peso biomasa seca	Kg		X	X	
7	Temperatura bulbo húmedo	°C		X	X	
8	Temperatura bulbo seco	°C		X	X	
9	Área secador	m ²	X			X
10	Tiempo	Min		X	X	
11	% humedad	%		X	X	
12	Velocidad de secado	Kg/ m ² *min		X	X	
13	Peso del precipitado de Carbono	Kg	X		X	

Continuación de Tabla V. Descripción de las variables por utilizar

14	Peso del precipitado de Nitrógeno	Kg	X		X	
15	Relación C/N sustrato	-	X		X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

3.2.1. Área de Conocimiento

Fundamento de Conocimiento: Microbiología, Química Ambiental, Química Orgánica, Transferencia de Masa y Bioingeniería.

3.2.2. Proceso

Evaluación de la biomasa fúngica obtenida con hongo *Pleurotus ostreatus* en sustrato de maíz y arroz por medio de curvas de secado y por relación Carbono/Nitrógeno de los sustratos.

3.2.3. Lugar

El proceso de secado de la biomasa fúngica se realizó en el Laboratorio de Extracciones Vegetales del Centro de Investigaciones de la Facultad Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala y las pruebas de carbono y nitrógeno de la biomasa se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Zootecnia y veterinaria de la Universidad San Carlos de Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Mónica Lorena Meneses Reyes
- Asesor: Ing. Qco. Carlos Salvador Wong Davi

3.4. Recursos materiales disponibles

3.4.1. Materia prima

El micelio del hongo *Pleurotus ostreatus* se obtendrán del municipio de Xelajú, Quetzaltenango y los sustratos maíz y arroz provienen del departamento de Escuintla.

3.4.2. Equipo para la evaluación de la biomasa fúngica

3.4.2.1. Instrumentos de medición

- Balanza
- Termómetro
- Metro

3.4.2.2. Equipo auxiliar

- Secador de bandejas

3.4.2.3. Material de apoyo

- Bolsas de polietileno transparentes
- Agua
- Cal

3.5. Técnicas cualitativas o cuantitativas

Para este trabajo de investigación se efectuarán pruebas cuantitativas, ya que se realizarán mediciones de diversos parámetros para evaluar la biomasa fúngica.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

3.6.1. Preparación de sustrato

- Remojar los granos que se utilizaran como sustrato por 24 horas.
- Agregar agua caliente con cal a 80°C por 10 minutos.
- Dejar secar 1 día a temperatura ambiente.

3.6.2. Siembra del micelio

- Colocar 1000 gramos de sustrato ya preparado y 50 gramos de semilla de hongo *Pleurotus ostreatus* en bolsas de polietileno transparentes.

- Sellar las bolsas.
- Dejar las bolsas en la oscuridad por 45 días. En el segundo día se deben realizar agujeros en la bolsa.

3.6.3. Preparación de biomasa

- Quitar los cuerpos fructíferos del hongo luego de la segunda cosecha de los hongos, (31 días después de la siembra).
- Pesar las bolsas con la biomasa húmeda.

3.6.4. Secado de la biomasa

- Sacar la biomasa de la bolsa y colocarla en la bandeja del túnel de secado.
- Medir la temperatura del secador.
- Medir el peso de la biomasa.
- Medir el tiempo de secado de la biomasa.
- Volver a medir el peso de la biomasa hasta llegar a un peso constante en 3 tiempos.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla VI. **Peso del sustrato de maíz puro**

	repetición 1	repetición 2	repetición 3
muestra	W inicial(Kg)	W inicial (Kg)	W inicial (Kg)
maíz			
arroz			
maíz-arroz 50/50			
maíz-arroz 75/25			
maíz-arroz 25/75			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos para el crecimiento del hongo en maíz puro.**

Tiempo (días)	Peso de la biomasa en crecimiento (Kg)		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
1			
5			
9			
13			
17			
21			
25			
29			
33			
37			
41			
45			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Datos para el secado de biomasa de maíz puro**

		Repetición 1	Repetición 2	repetición 3	promedio	
t (h)	T(°C)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	X
0						
1						
2						
4						
6						
8						
10						
12						

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Se realizaron 5 tipos de sustratos y para cada uno de ellos se llevaron a cabo 3 repeticiones de cada parámetro por evaluar, por lo que se utilizó un análisis de varianza para cada uno de ellos.

Tabla IX. **Datos para el análisis de varianza**

Tratamiento	Repeticiones			
	1	2	3	Promedio
1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	Y_1 promedio
2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	Y_2 promedio
3	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	Y_3 promedio
4	$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	$Y_{4,3}$	Y_4 promedio
5	$Y_{5,1}$	$Y_{5,2}$	$Y_{5,3}$	Y_5 promedio
Promedio	Y_1 promedio	Y_2 promedio	Y_3 promedio	Y

Fuente: elaboración propia.

Donde:

$Y_{i,j}$: Total de las observaciones bajo el i , j -ésimo tratamientos

Y : Promedio total de las observaciones bajo el i , j -ésimo tratamiento

$Y_{a,b}$: Datos obtenidos para cada observación bajo cada tratamiento

El procedimiento para un diseño de bloques aleatorios consiste en seleccionar bloques y en ejecutar una repetición completa del experimento en cada bloque. Las observaciones pueden representarse por medio de un modelo estadístico lineal. También se realizará la prueba de Fisher para evaluar las hipótesis planteadas.

- Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética.

x_i = Valores obtenidos.

N = Número de datos.

- Desviación estándar

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

\bar{x} = Media aritmética.

x_i = Valores obtenidos

- Coeficiente de variación

$$C_v = \frac{\sigma}{|\bar{x}|} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde:

C_v = Coeficiente de variación.

3.9. Plan de análisis de los resultados

3.9.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

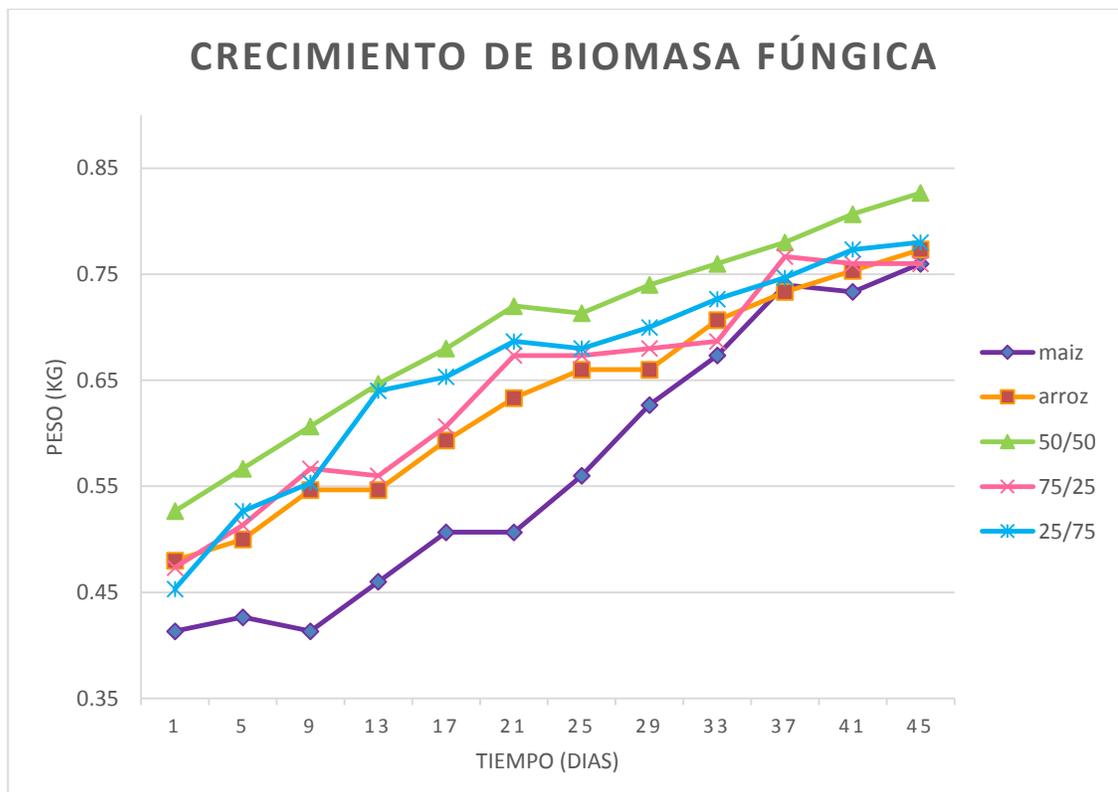
Debido a que los datos serán de carácter cuantitativos, se realizó un análisis de confiabilidad por medio de la prueba Fisher con un 95% de confiabilidad para cada uno de los parámetros obtenidos en la evaluación de la biomasa fúngica. Con estos datos se organizaron graficas de la desviación estándar de cada parámetro.

3.9.2. Programas por utilizar para el análisis de datos

- Microsoft Word 2013
- Microsoft Excel 2013

4. RESULTADOS

Figura 10. Crecimiento de la biomasa fúngica con hongo *Pleurotus ostreatus* con los sustratos evaluados



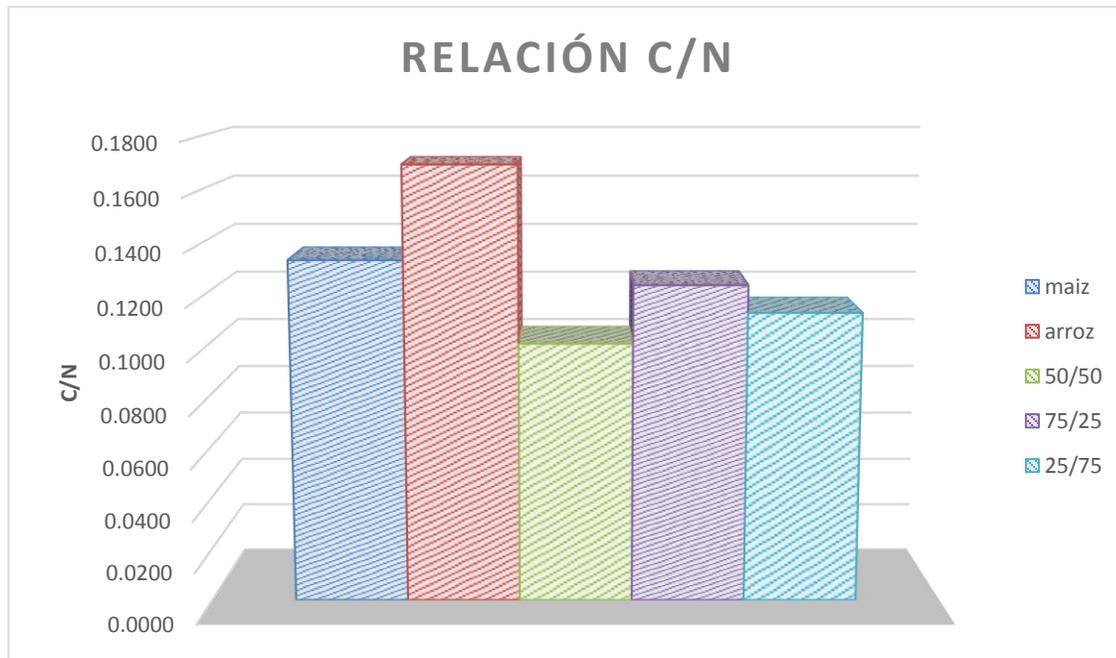
Fuente: elaboración propia, resultados obtenidos del apéndice 1.

Tabla X. Descripción figura 1

Color	modelo matemático	R ²
	$W = 8E-06t^6 - 0,0003t^5 + 0,0047t^4 - 0,0343t^3 + 0,1284t^2 - 0,2124t + 0,5307$	0,9908
	$W = -1E-05t^6 + 0,0005t^5 - 0,0069t^4 + 0,0484t^3 - 0,1703t^2 + 0,3121t + 0,2883$	0,9732
	$W = -2E-06t^6 + 5E-05t^5 - 0,0005t^4 + 0,0011t^3 + 0,004t^2 + 0,0241t + 0,4984$	0,9968
	$W = -1E-05t^6 + 0,0005t^5 - 0,0069t^4 + 0,0484t^3 - 0,1703t^2 + 0,3121t + 0,2883$	0,9732
	$W = -1E-06t^6 + 2E-05t^5 + 0,0001t^4 - 0,0041t^3 + 0,0207t^2 + 0,0235t + 0,4156$	0,9904

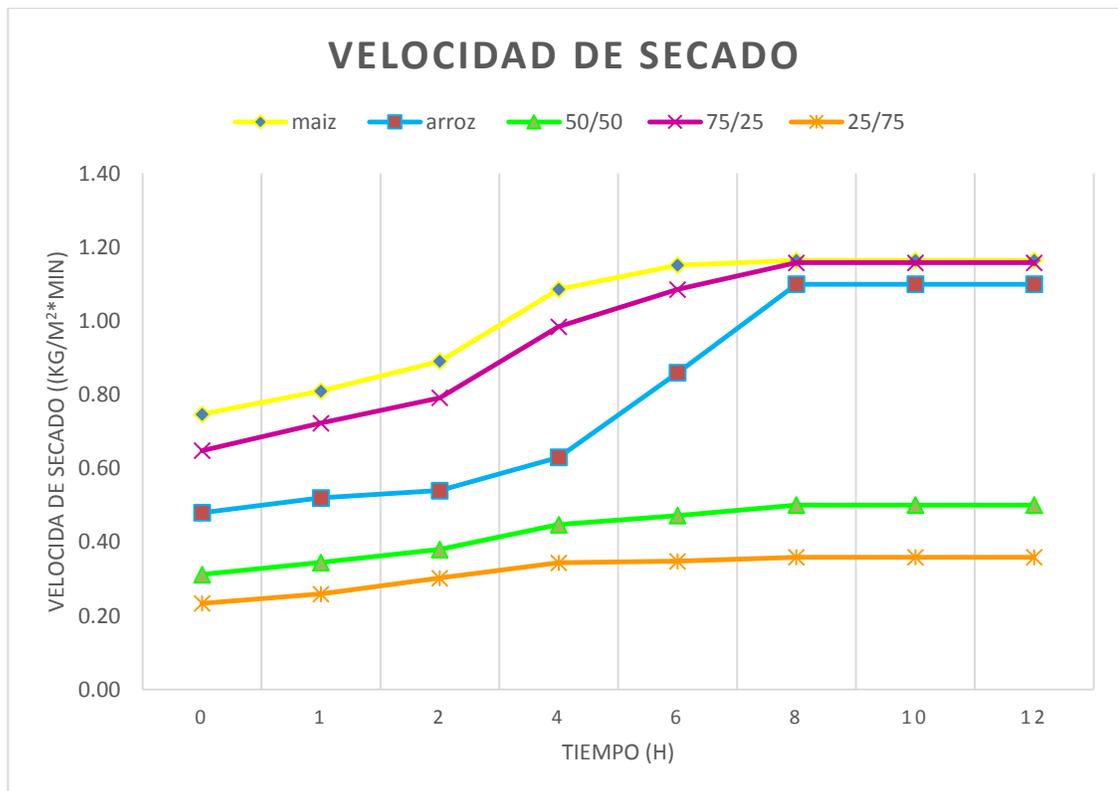
Fuente: elaboración propia, con base a los datos de la figura 1.

Figura 11. Relación Carbono/Nitrógeno



Fuente: elaboración propia, resultados obtenidos del apéndice 1.

Figura 12. Velocidad de secado de la biomasa fúngica con hongo *Pleurotus ostreatus* con los sustratos evaluados



Fuente: elaboración propia, resultados obtenidos del apéndice 1.

Tabla XI. Descripción figura 3

color	modelo matemático	R ²
	$V = -0,0005t^6 + 0,0123t^5 - 0,1303t^4 + 0,668t^3 - 1,7074t^2 + 2,1075t - 0,2021$	0,9975
	$V = 0,0005t^6 - 0,0135t^5 + 0,1265t^4 - 0,5639t^3 + 1,2648t^2 - 1,3206t + 0,9862$	1
	$V = -6E-05t^6 + 0,0017t^5 - 0,018t^4 + 0,0923t^3 + 0,2319t^2 + 0,3018t + 0,1666$	0,9958
	$V = -0,0003t^6 + 0,008t^5 - 0,0883t^4 + 0,4753t^3 - 1,2712t^2 + 1,6528t - 0,1275$	0,9976
	$V = -7E-06t^6 + 7E-05t^5 + 0,0011t^4 - 0,0187t^3 + 0,0916t^2 - 0,1377t + 0,2978$	0,9963

Fuente: elaboración propia, con base a los datos de la figura 3.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó la evaluación de la biomasa fúngica procedente de la producción de hongo ostra, utilizando diversas proporciones de granos para el sustrato del hongo. Estas proporciones son 100% de maíz, 100% de arroz, mezcla de 50% de maíz y 50% de arroz, mezcla de 75% de maíz y 25% de arroz y una mezcla de 25% de maíz y 25% de arroz. Las variables por evaluar para cada una de las proporciones fue el crecimiento de la biomasa, la velocidad de secado en un secador de bandejas eléctrico y la relación Carbono/Nitrógeno de la biomasa.

Para obtener los datos del crecimiento de la biomasa se inocularon bolsas de 1kg. de sustrato y micelio del hongo Ostra. Cada 3 días se realizaba el proceso de secado de la biomasa en un secador de bandejas de flujo transversal para determinar el peso real de biomasa, se realizó este procedimiento hasta cumplir con dos ciclos de cosecha de hongo para que la biomasa fuese considerada como desecho.

Los resultados obtenidos para esta variable se pueden observar en la Figura 10 donde se graficó el peso de la biomasa seca en función del tiempo que transcurrió desde la inoculación. Se puede apreciar que la proporción que tuvo un crecimiento mayor en comparación a los otros fue el de la mezcla 50% maíz y 50% arroz.

Esto se debe que en esta mezcla de granos se posee una excelente cantidad de nutrientes que permite crecer al hongo y este a su vez transformar el material orgánico en el que crece. También posee buenas características de espacio entre granos para que el hongo pueda desarrollarse, es decir que queda espacio suficiente para el hongo pueda crecer entre los granos sin ser sofocado.

En este grafico también se observa que el menor crecimiento de la biomasa se dio en el sustrato de maíz únicamente. Esto se debió que el grano de maíz contenía poca humedad dentro de él porque no absorbe tanta agua como el arroz, lo que produjo un crecimiento más lento del hongo y por tanto una conversión más lenta de los granos de maíz a biomasa.

Se puede observar que, a partir del día 37 en adelante, no se presenta un intervalo de crecimiento alto, en la mayoría de las proporciones. Esto se debe a que el crecimiento del hongo es de 21 días por cosecha, luego, deja de crecer y empieza su etapa de muerte; por ello, para determinar el crecimiento únicamente se tomaron datos durante 45 días.

En la tabla X se muestran las tendencias que se obtuvieron graficando los datos de peso seco de la biomasa y el tiempo transcurrido desde la siembra. Esto se realizó para predecir el peso que tendrá la biomasa en determinado día, por ello, los modelos matemáticos están en función del tiempo. Se puede observar en la tabla, el modelo matemático obtenido así como su coeficiente de correlación para determinar la confiabilidad de los modelos. A partir de esto, se puede determinar que la correlación más confiable es la de la mezcla de 50% maíz y 50% arroz.

Se realizó un análisis bromatológico de cada una de las muestras de la biomasa variando la proporción de los granos, para determinar la cantidad de carbono orgánico y de nitrógeno en la muestra, y con ello establecer la relación Carbono/Nitrógeno.

Esos resultados se muestran en la Figura 11 en la cual se puede observar que la mayor relación C/N se obtuvo en la muestra de arroz como sustrato y la menor relación C/N se obtuvo en la mezcla de 50% maíz y 50% arroz.

Cuanto menor sea la relación C/N la biomasa será más biodegradable, ya que el contenido de nitrógeno en ella será mayor, y el carbono orgánico presente en la muestra no es degradable. En este caso, la mezcla de 50% maíz y 50% arroz tiene mayor funcionabilidad en productos de suelo y biocombustibles que en relación a la muestra de únicamente arroz.

Se realizó el proceso de secado en un secador de bandejas de flujo transversal para determinar la velocidad de secado de la biomasa variando las proporciones de los granos. Este proceso se realizó en el día 45 después de la siembra del hongo ostra en los sustratos a evaluar. Luego se determinó la humedad que tenía la biomasa en cada medición y se graficaron los datos obtenidos para obtener modelos matemáticos de la humedad en función del tiempo. Se derivaron los modelos matemáticos obtenidos para determinar la velocidad de secado en función del tiempo.

Estos resultados se muestran en la figura 12 en la cual se puede observar la velocidad de secado de la biomasa en función de las horas que tarda en secar completamente la biomasa. Esto se realizó pesando la biomasa

cada dos horas hasta completar 12 horas que es lo que se tarda la biomasa en llegar a un peso constante.

Según la gráfica resultante, la muestra que presenta una velocidad de secado más alta es la de 100% de maíz esto se debe a que los granos de maíz tienen un mayor tamaño lo que permite que el aire caliente cubra de mejor manera los granos y se sequen en menor tiempo dado que presentan mayor área de transferencia. De igual forma, el maíz es un grano que no absorbe una gran cantidad de agua dentro de él por lo que la mayor cantidad de humedad se encuentra en su superficie.

La mezcla que presenta una menor velocidad de secado es 25% maíz y 75% arroz. Esto se debe a que existe mayor cantidad de granos de arroz que de maíz, los cuales tienen la capacidad de absorber más agua; y debido a la presencia de maíz la biomasa se aglomeró formando una especie de roca, lo que dificultó el secado total de la biomasa.

En la tabla XI se muestran los modelos matemáticos obtenidos de estos datos y sus correlaciones respectivas, las cuales muestran que las ecuaciones obtenidas son confiables y se pueden utilizar para predecir futuros datos.

Para obtener los resultados de esta investigación se realizaron tres corridas para cada uno de los cinco tratamientos. La desviación estándar no fue mayor a 1,87 para cada uno de ellos, lo cual indica que los valores obtenidos no se alejan del promedio reportado.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron modelos matemáticos para la velocidad de secado de la biomasa fúngica variando las proporciones de los sustratos. La muestra que presenta una mayor velocidad de secado respecto a las demás fue el sustrato 100% maíz.
2. La muestra de biomasa que presenta el menor valor de la relación Carbono/Nitrógeno es la mezcla de 50% maíz y 50% arroz.
3. Se obtuvieron modelos matemáticos para el crecimiento de la biomasa fúngica, la muestra que presentó un mejor crecimiento respecto a las otras, fue la mezcla de 50% maíz y 50% arroz con el modelo matemático $W = -2E-06t^6 + 5E-05t^5 - 0,0005t^4 + 0,0011t^3 + 0,004t^2 + 0,0241t + 0,4984$.
4. Existen diferencias significativas en el crecimiento de la biomasa variando las proporciones de los componentes del sustrato según la prueba de Fisher.
5. Según la prueba de Fisher realizada existen diferencias significativas en la velocidad de secado de la biomasa variando las proporciones de los componentes de los sustratos evaluados.
6. La relación C/N de la biomasa con distintas proporciones de los componentes de la mezcla (maíz y arroz) tiene diferencias significativas con una probabilidad de $2,20E-10$ y un nivel de confiabilidad de 0,05.

7. La muestra que presenta mejores ventajas para ser industrializada es mezcla de 50% maíz y 50% arroz.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar olote como sustrato para disminuir el costo de la evaluación de la biomasa fúngica.
2. Realizar un secado solar previo al proceso de secado en el laboratorio para disminuir el costo y tiempo del proceso.
3. Realizar la siembra de la biomasa con un volumen de sustrato de 10Kg. para aumentar la eficiencia del crecimiento del hongo.
4. Realizar todos los análisis bromatológicos a la biomasa para determinar su valor nutricional como alimento para animales.
5. Realizar los estudios a la mezcla de biomasa de 50% maíz y 50% arroz para evaluar si factibilidad como biocombustible, alimento animal y fertilizante.
6. A la biomasa de 25% maíz y 75% arroz realizar las pruebas para determinar su eficiencia como briquetas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALDANA MARTÍNEZ, Alfredo. *Comparación de la eficiencia de producción de inóculo primario del hongo comestible Pleurotus ostreatus cepa ECS 0110, en cinco granos*. Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, Escuela de Sistemas de Producción Agrícola. Guatemala C.A. 2000.
2. ARDÓN LÓPEZ, Carlos Eduardo. *Evaluación de pericarpio de Jacaranda (Jacaranda mimosaeifolia) Y pasto estrella africana (Cynodon plectostachyus), para el cultivo artesanal del hongo ostra (Pleurotus ostreatus, Ecosur-0112)*. Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, Escuela de Sistemas de Producción Agrícola. Guatemala C.A. 2004.
3. DÁVILA, N. *Proceso de secado*, México, [en línea], http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo4.pdf, [consulta: abril de 2016]
4. DESCONOCIDO. *Secado de sólidos*, capítulo IV, México, [en línea], <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4122/Capitulo4.pdf>, [Consulta abril de 2016]
5. *Cultivo de hongos comestibles*, [En línea], <http://www.flordeplanta.com.ar/siembra/como-cultivar-setas-comestibles-en-casa/>, [Consulta: abril de 2016].

6. Cultivo de hongos *Pleurotus Ostreatus*, [En línea], <http://www.cuexcomate.com/2012/04/mmmcultivo-de-hongos-comestibles.html>, [Consulta: marzo de 2016].
7. FERNANDEZ, Jesús. *Energías renovables para todos, biomasa*, Comunidad de Madrid, España.
8. FOCER. *Manuales sobre energía renovable Biomasa. Uses network*. San José, Costa Rica, 2002.
9. FRANCE I., Andrés. *Producción de Hongos Ostras*, Universidad de Concepción, Chillan, Chile, 2 000.
10. GODEAS, A.M. *Actividad y biomasa fúngica en suelos agrícolas bajo distintos manejos*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires, Argentina. 1990
11. McCABE, Warren. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*, séptima edición, capítulo 24, paginas 833-853, Estados Unidos.
12. REGIL WALD, Juan Sebastián. *Estudio de factibilidad para producción de energía eléctrica, a partir de biomasa de Eucalipto*. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Guatemala C.A. 2010

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos calculados

Peso inicial de los sustratos

	repetición 1	repetición 2	repetición 3	
muestra	W inicial(Kg)	W inicial (Kg)	W inicial (Kg)	promedio
maíz	1,05	1,10	1,00	1,05
arroz	1,00	1,07	1,05	1,04
maíz-arroz 50/50	1,04	1,06	1,02	1,04
maíz-arroz 75/25	1,07	1,10	1,05	1,07
maíz-arroz 25/75	1,00	1,08	1,05	1,04

Fuente: elaboración propia.

Datos para el crecimiento del hongo en maíz puro.

Tiempo (días)	Peso de la biomasa en crecimiento (Kg)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
1	0,42	0,42	0,40	0,41
9	0,38	0,44	0,42	0,41
13	0,48	0,44	0,46	0,46
17	0,46	0,54	0,52	0,51
21	0,50	0,50	0,52	0,51
25	0,54	0,58	0,56	0,56
29	0,60	0,64	0,64	0,63
33	0,64	0,70	0,68	0,67
37	0,74	0,74	0,74	0,74
41	0,74	0,72	0,74	0,73
45	0,76	0,76	0,76	0,76

Fuente: elaboración propia.

Datos para el crecimiento del hongo en arroz puro.

Tiempo (días)	Peso de la biomasa en crecimiento (Kg)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
1	0,40	0,50	0,54	0,48
5	0,42	0,52	0,56	0,50
9	0,48	0,56	0,60	0,55
13	0,52	0,54	0,58	0,55
17	0,58	0,58	0,62	0,59
21	0,62	0,62	0,66	0,63
25	0,64	0,66	0,68	0,66
29	0,62	0,64	0,72	0,66
33	0,68	0,68	0,76	0,71
37	0,74	0,72	0,74	0,73
41	0,72	0,76	0,78	0,75
45	0,78	0,74	0,80	0,77

Fuente: elaboración propia.

Datos para el crecimiento del hongo en maíz y arroz 50/50.

Tiempo (días)	Peso de la biomasa en crecimiento (Kg)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
1	0,54	0,52	0,52	0,53
5	0,56	0,56	0,58	0,57
9	0,58	0,64	0,60	0,61
13	0,64	0,66	0,64	0,65
17	0,68	0,68	0,68	0,68
21	0,72	0,70	0,74	0,72
25	0,70	0,72	0,72	0,71
29	0,72	0,76	0,74	0,74
33	0,74	0,78	0,76	0,76
37	0,78	0,78	0,78	0,78
41	0,80	0,80	0,82	0,81
45	0,82	0,82	0,84	0,83

Fuente: elaboración propia.

Datos para el crecimiento del hongo en maíz y arroz 25/75.

Tiempo (días)	Peso de la biomasa en crecimiento (Kg)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
1	0,42	0,50	0,50	0,53
5	0,46	0,52	0,56	0,57
9	0,58	0,54	0,58	0,61
13	0,56	0,52	0,60	0,65
17	0,66	0,54	0,62	0,68
21	0,72	0,66	0,64	0,72
25	0,72	0,64	0,66	0,71
29	0,70	0,66	0,68	0,74
33	0,68	0,68	0,70	0,76
37	0,80	0,76	0,74	0,78
41	0,78	0,74	0,76	0,81
45	0,78	0,74	0,76	0,83

Fuente: elaboración propia.

Datos para el crecimiento del hongo en maíz y arroz 75/25.

Tiempo (días)	Peso de la biomasa en crecimiento (Kg)			
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio
1	0,42	0,42	0,52	0,47
5	0,52	0,52	0,54	0,51
9	0,56	0,54	0,56	0,57
13	0,66	0,64	0,62	0,56
17	0,66	0,62	0,68	0,61
21	0,72	0,66	0,68	0,67
25	0,70	0,64	0,70	0,67
29	0,72	0,66	0,72	0,68
33	0,74	0,70	0,74	0,69
37	0,76	0,74	0,74	0,77
41	0,78	0,78	0,76	0,76
45	0,80	0,76	0,78	0,76

Fuente: elaboración propia.

Datos para el secado de biomasa de maíz puro

		Repetición 1	Repetición 2	repetición 3	promedio	
t (h)	T(°C)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	X
0	65	1,06	0,90	0,90	0,95	0,28
1	65	1,00	0,88	0,88	0,92	0,23
2	65	0,92	0,86	0,86	0,88	0,18
4	65	0,84	0,78	0,76	0,79	0,06
6	65	0,78	0,78	0,74	0,77	0,03
8	65	0,74	0,76	0,74	0,75	0,02
10	65	0,74	0,76	0,74	0,75	0,02
12	65	0,74	0,76	0,74	0,75	0,02

Fuente: elaboración propia.

Datos para el secado de biomasa de arroz puro

		Repetición 1	Repetición 2	repetición 3	promedio	
t (h)	T(°C)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	X
0	65	1,06	0,92	0,92	0,97	0,24
1	65	0,98	0,90	0,88	0,92	0,18
2	65	0,90	0,88	0,86	0,88	0,13
4	65	0,84	0,82	0,78	0,81	0,06
6	65	0,80	0,82	0,82	0,81	0,04
8	65	0,76	0,80	0,78	0,78	0,01
10	65	0,76	0,80	0,78	0,78	0,01
12	65	0,76	0,80	0,78	0,78	0,01

Fuente: elaboración propia.

Datos para el secado de biomasa de maíz y arroz 50/50.

t (h)	T(°C)	Repetición 1	Repetición 2	repetición 3	Promedio	X
		peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	
0	65	1,08	0,96	0,96	1,00	0,30
1	65	1,02	0,92	0,92	0,95	0,24
2	65	0,92	0,90	0,90	0,91	0,18
4	65	0,86	0,82	0,80	0,83	0,08
6	65	0,82	0,80	0,78	0,80	0,04
8	65	0,76	0,78	0,76	0,77	0,005
10	65	0,76	0,78	0,76	0,77	0,005
12	65	0,76	0,78	0,76	0,77	0,005

Fuente: elaboración propia.

Datos para el secado de biomasa de maíz y arroz 25/75.

t (h)	T(°C)	Repetición 1	Repetición 2	repetición 3	promedio	X
		peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	
0	65	1,12	1,02	0,98	1,04	0,37
1	65	1,08	0,96	0,94	0,99	0,31
2	65	1,00	0,94	0,92	0,95	0,25
4	65	0,92	0,82	0,82	0,85	0,12
6	65	0,84	0,80	0,78	0,81	0,06
8	65	0,74	0,78	0,76	0,76	0,02
10	65	0,74	0,78	0,76	0,76	0,02
12	65	0,74	0,78	0,76	0,76	0,02

Fuente: elaboración propia.

Datos para el secado de biomasa de maíz y arroz 75/25.

		Repetición 1	Repetición 2	repetición 3	promedio	
t (h)	T(°C)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	peso (Kg)	X
0	65	1,04	0,94	0,98	0,99	0,28
1	65	0,96	0,92	0,94	0,94	0,22
2	65	0,86	0,88	0,86	0,87	0,12
4	65	0,80	0,78	0,82	0,80	0,03
6	65	0,78	0,80	0,80	0,79	0,03
8	65	0,76	0,78	0,78	0,77	0,005
10	65	0,76	0,78	0,78	0,77	0,005
12	65	0,76	0,78	0,78	0,77	0,005

Fuente: elaboración propia.

Datos análisis bromatológicos biomasa maíz puro

ceniza %	Proteína	carbono (g)	Nitrógeno (g)	C/N
2,44	1 189	24,8525	190,24	0,1306
2,50	1 156	24,9001	184,96	0,1346
2,56	1 146	24,9235	183,36	0,1359
Promedio 2,50	1 163	24,8920	186,19	0,1337

Fuente: elaboración propia.

Datos análisis bromatológicos biomasa maíz puro

ceniza %	Proteína	carbono (g)	Nitrógeno (g)	C/N
4,67	932	24,9143	149,12	0,1671
3,68	918	24,8697	146,88	0,1693
2,45	895	24,7781	143,20	0,1730
Promedio 3,60	915	24,8540	146,40	0,1698

Fuente: elaboración propia.

Datos análisis bromatológicos biomasa maíz y arroz 50/50

ceniza %	Proteína	carbono (g)	Nitrógeno (g)	C/N
6,20	1 530	24,8931	244,80	0,1017
5,33	1 507	24,9287	241,12	0,1034
5,78	1 556	24,8948	248,96	0,1000
Promedio 5,77	1 531	24,9055	244,96	0,1017

Fuente: elaboración propia.

Datos análisis bromatológicos biomasa maíz y arroz 75/25

ceniza %	Proteína	carbono (g)	Nitrógeno (g)	C/N
1,84	1216	24,8848	194,56	0,1279
2,56	1243	24,6820	198,88	0,1241
2,73	1278	24,6594	204,48	0,1206
Promedio 2,38	1245	24,7421	199,31	0,1241

Fuente: elaboración propia.

Datos análisis bromatológicos biomasa maíz y arroz 25/75

ceniza %	proteína	carbono (g)	Nitrógeno (g)	C/N
3,29	1 359	24,7361	217,44	0,1138
2,86	1 372	24,7400	219,52	0,1127
2,49	1 355	24,7351	216,80	0,1141
Promedio 2,88	1 362	24,7371	217,92	0,1135

Fuente: elaboración propia.

Datos velocidad de secado biomasa maíz puro

tiempo (h)	X	Velocidad (kg/m ² min)
0	0,28	0,75
1	0,23	0,81
2	0,18	0,89
4	0,06	1,09
6	0,03	1,15
8	0,02	1,16
10	0,02	1,16
12	0,02	1,16

Fuente: elaboración propia.

Datos velocidad de secado biomasa arroz puro

tiempo (h)	X	Velocidad (kg/m² min)
0	0,24	0,48
1	0,18	0,52
2	0,13	0,54
4	0,06	0,63
6	0,04	0,86
8	0,01	1,10
10	0,01	1,10
12	0,01	1,10

Fuente: elaboración propia.

Datos velocidad de secado biomasa maíz y arroz 50/50

tiempo (h)	X	Velocidad (kg/m² min)
0	0,300	0,31
1	0,240	0,34
2	0,180	0,38
4	0,080	0,45
6	0,040	0,47
8	0,005	0,50
10	0,005	0,50
12	0,005	0,50

Fuente: elaboración propia.

Datos velocidad de secado biomasa maíz y arroz 75/25

tiempo (h)	X	Velocidad (kg/m² min)
0	0,37	0,65
1	0,31	0,72
2	0,25	0,79
4	0,12	0,98
6	0,06	1,09
8	0,02	1,16
10	0,02	1,16
12	0,02	1,16

Fuente: elaboración propia.

Datos velocidad de secado biomasa maíz y arroz 25/75

tiempo (h)	X	Velocidad (kg/m² min)
0	0,28	0,23
1	0,22	0,26
2	0,12	0,30
4	0,03	0,34
6	0,03	0,35
8	0,005	0,36
10	0,005	0,36
12	0,005	0,36

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Análisis estadístico

Anova crecimiento de la biomasa

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	12	6,82	0,568333333	0,01776263		
Columna 2	12	7,58667	0,632222222	0,00988148		
Columna 3	12	8,37333	0,697777778	0,00902896		
Columna 4	12	7,72	0,643333333	0,00976566		
Columna 5	12	7,92	0,66	0,01038384		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G.L	P.C	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,107345185	4	0,026836296	2,36141216	0,064382927	2,539688635
Dentro de los grupos	0,625048148	55	0,011364512			
Total	0,732393333	59				

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

Anova velocidad de secado de la biomasa

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	8	8,179482	1,02243526	0,03135292		
Columna 2	8	6,33	0,79125	0,0786125		
Columna 3	8	3,459536	0,43244205	0,00581118		
Columna 4	8	7,706831	0,9633539	0,04506327		
Columna 5	8	2,565819	0,32072733	0,00247222		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G.L	P.C	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3,175190668	4	0,79379767	2,43030897	1,09881E-09	2,641465186
Dentro de los grupos	1,14318462	35	0,03266242			
Total	4,318375287	39				

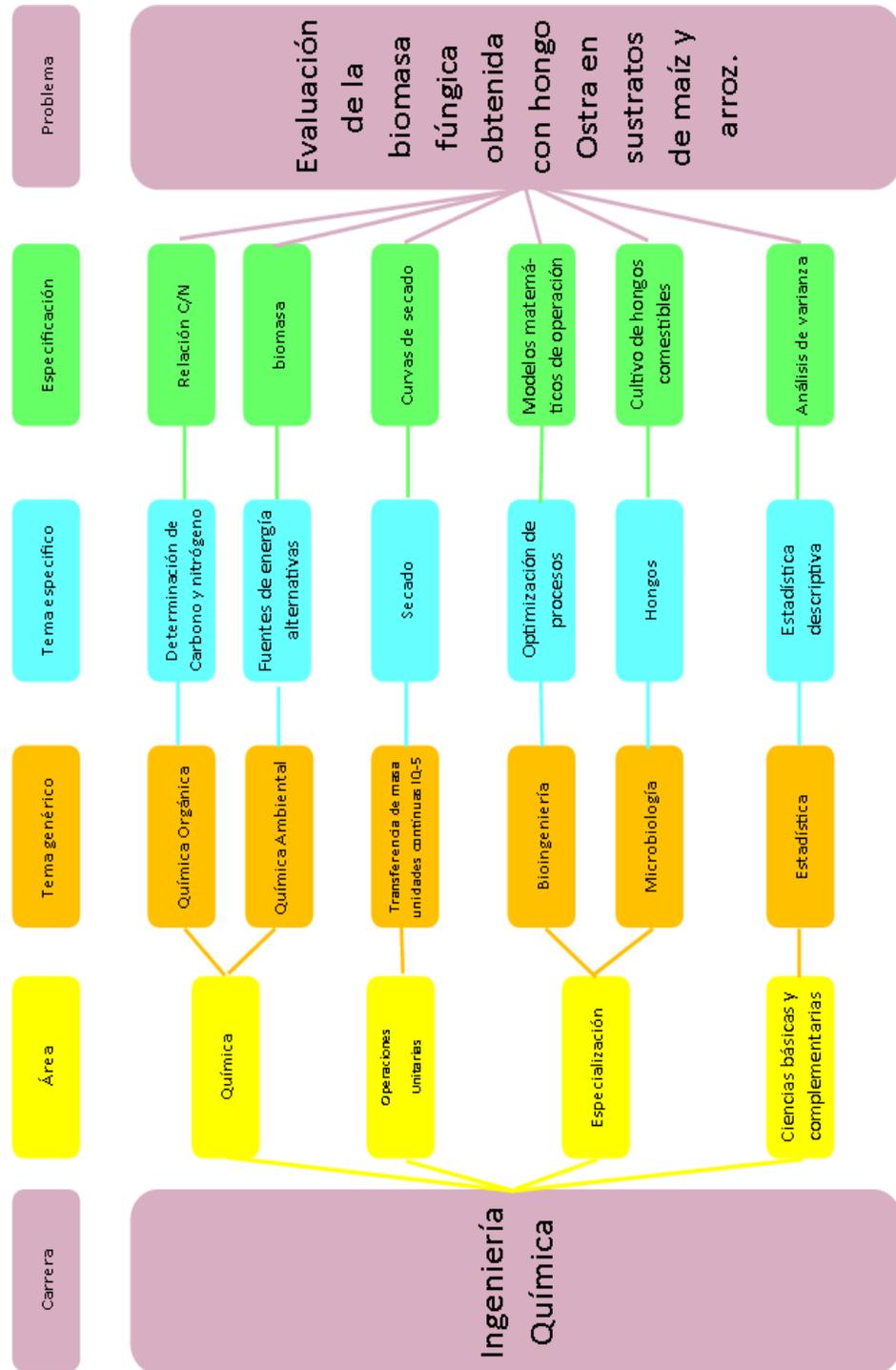
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

Anova relación C/N de la biomasa

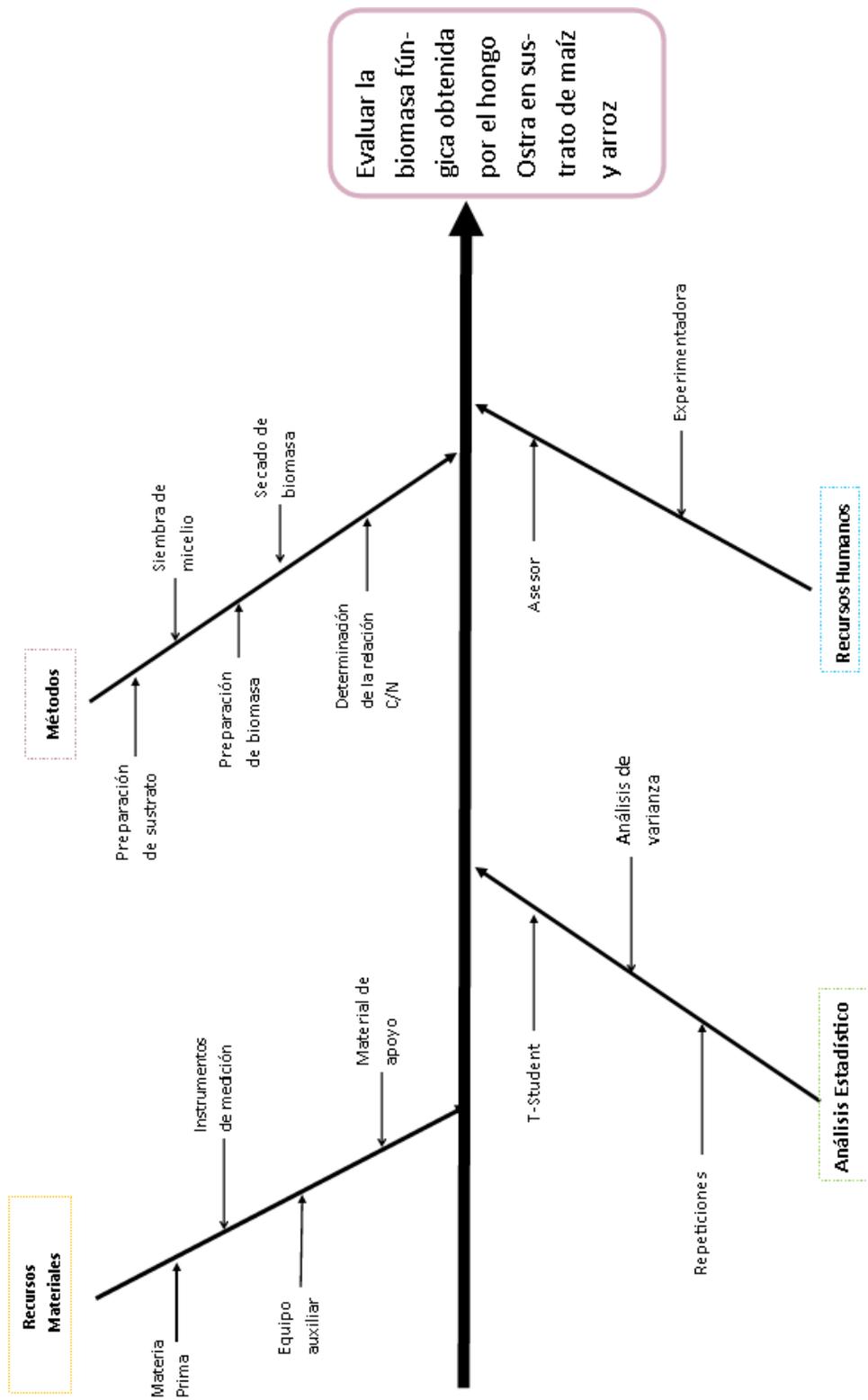
Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	3	0,401188	0,133729483	7,594E-06		
Columna 2	3	0,509426	0,169808929	9,048E-06		
Columna 3	3	0,305065	0,101689930	2,876E-06		
Columna 4	3	0,372603	0,124201201	1,336E-05		
Columna 5	3	0,340552	0,113517601	5,282E-07		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G.L.	P.C	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,008086401	4	0,0020216	302,61618	2,20E-10	3,478049691
Dentro de los grupos	6,68041E-05	10	6,6804E-06			
Total	0,008153205	14				

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2013.

REQUISITOS ACADÉMICOS



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4.

Micelio Hongo *Pleurotus ostreatus*



Fuente: elaboración propia, zona 12 Guatemala.

Apéndice 5.

Bolsa de siembra de biomasa fúngica



Fuente: elaboración propia, zona 12 Guatemala.

Apéndice 6. Secado de biomasa fúngica procedente de producción de hongo Ostra



Fuente: Laboratorio de extracciones vegetales LIEXVE, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 7. Peso biomasa fúngica en proceso de secado



Fuente: Laboratorio de extracciones vegetales LIEXVE, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 8. Bandeja de secado de biomasa fúngica



Fuente: Laboratorio de extracciones vegetales LIEXVE, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 9. Biomasa fúngica seca de maíz y arroz procedente de la producción de hongo Ostra



Fuente: Laboratorio de extracciones vegetales LIEXVE, Facultad de Ingeniería.