



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA CÁSCARA DE
HABA (*Vicia faba*) MEDIANTE EL CULTIVO DEL HONGO *Pleurotus*
*ostreatus***

ANA MARCELA MARTÍNEZ PADRÓN

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

TUTOR: DR. IVÁN RAMOS SEVILLA

Riobamba-Ecuador

2017

©2017, Ana Marcela Martínez Padrón

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA CÁSCARA DE HABA (*Vicia faba*) MEDIANTE EL CULTIVO DEL HONGO *Pleurotus ostreatus*”**, de responsabilidad de la señorita Ana Marcela Martínez Padrón, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE:

FIRMA

FECHA

Dr. Iván Ramos Sevilla

DIRECTOR DE TRABAJO
DE TITULACIÓN

Ing. Orlando Bravo Calle

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Ana Marcela Martínez Padrón soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ana Marcela Martínez Padrón

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ana Marcela Martínez Padrón declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 13 de Julio del 2017

Ana Marcela Martínez Padrón

0604730838

DEDICATORIA

A mis padres, Ana Padrón y Marcelo Martínez, quienes siempre han creído en mí y me han apoyado incondicionalmente para alcanzar mis metas, con su cariño, esfuerzo y consejos, convirtiéndose en los maestros que guían mi vida y que también me han forjado como la persona que soy actualmente.

Marcela Martínez

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, por haberme dado la oportunidad de obtener una profesión que me permitirá ser una persona útil para la sociedad.

Agradezco también al Dr. Iván Ramos que con su conocimiento, experiencia y don de gente supo contribuir oportuno y adecuadamente con la realización del presente trabajo de titulación; de igual forma un agradecimiento a todos los docentes que formaron parte de mi vida estudiantil.

Como no podría ser de otra manera, evocar un agradecimiento profundo a mis queridos padres, familiares y amigos, que con su apoyo desinteresado me animaron siempre a seguir adelante y superar todos mis obstáculos para cumplir mis sueños.

Marcela Martínez

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AMI	Instituto Americano de Hongos
a_w	Actividad del agua
°C	Grados Celsius
cm	Centímetros
CO ₂	Dióxido de Carbono
EB	Eficiencia Biológica
FES	Fermentación en Estado Sólido
g	Gramos
mg	Miligramos
ml	Mililitros
<i>P. ostreatus</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>
ppm	Partes por millón
VLDL	Lipoproteínas de muy baja densidad
%	Porcentaje

Tabla de Contenido

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.1.1. <i>Historia del cultivo de hongos comestibles</i>	4
1.1.2. <i>Cultivo de hongos comestibles en el Ecuador</i>	6
1.2. Marco Conceptual.....	6
1.2.1. <i>Residuos agroindustriales</i>	6
1.2.2. <i>Celulosa</i>	7
1.2.3. <i>Hemicelulosa</i>	8
1.2.4. <i>Lignina</i>	9
1.2.5. <i>Contaminación por residuos agroindustriales</i>	10
1.2.5.1. <i>Selección de residuos agroindustriales para su aprovechamiento biotecnológico</i> ...11	
1.2.5.2. <i>Usos biotecnológicos de residuos agroindustriales</i>	11
1.2.6. <i>El haba</i>	11
1.2.6.1. <i>Clasificación taxonómica del haba</i>	12
1.2.6.2. <i>Residuos del haba</i>	12
1.2.7. <i>Microorganismos que degradan los residuos lignocelulósicos</i>	13
1.2.8. <i>Pleurotus ostreatus</i>	14
1.2.8.1. <i>Clasificación taxonómica del hongo Pleurotus ostreatus</i>	15

1.2.8.2. <i>Características morfológicas del hongo</i>	16
1.2.8.3. <i>Condiciones ambientales para el desarrollo de Pleurotus ostreatus</i>	17
1.2.8.3.1. <i>Temperatura</i>	17
1.2.8.3.2. <i>Humedad del sustrato</i>	17
1.2.8.3.3. <i>Humedad del ambiente</i>	18
1.2.8.3.4. <i>Luz</i>	18
1.2.8.3.5. <i>Aireación</i>	18
1.2.8.4. <i>Propiedades nutricionales del hongo</i>	19
1.2.8.5. <i>Características biotecnológicas del hongo Pleurotus ostreatus</i>	19
1.2.8.5.1. <i>Ámbito Ambiental</i>	20
1.2.8.5.2. <i>Ámbito Medicinal</i>	21
1.2.9. <i>Fermentación en estado sólido (FES)</i>	22
1.2.9.1. <i>Características de la FES</i>	22
1.2.9.2. <i>Ventajas de la FES</i>	23
1.2.9.3. <i>Factores que intervienen en la FES</i>	24
1.2.9.3.1. <i>Temperatura</i>	24
1.2.9.3.2. <i>Humedad y actividad del agua</i>	24
1.2.9.3.3. <i>pH</i>	25
1.2.9.3.4. <i>Aireación</i>	25
1.2.9.3.5. <i>Tamaño de las partículas</i>	26

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA	27
2.1. Hipótesis y especificación de las variables	27
2.1.1. <i>Hipótesis General</i>	27
2.1.2. <i>Variable Independiente</i>	27
2.1.2.1. <i>Variable Independiente</i>	27
2.1.2.2. <i>Variables Dependientes</i>	27
2.2. Tipo y Diseño de Investigación	27
2.3. Unidad de Análisis	28

2.4. Población de Estudio	28
2.5. Tamaño de Muestra	28
2.6. Selección de Muestra	28
2.7. Etapas de Investigación	28
2.7.1. Análisis físico químico del residuo de la cáscara de haba	28
2.7.2. Conservación y reproducción de las cepas de <i>Pleurotus ostreatus</i>	29
2.7.3. Obtención del inóculo o semilla de <i>Pleurotus ostreatus</i>	30
2.7.4. Preparación del sustrato y desarrollo de la fermentación sólida con <i>Pleurotus ostreatus</i>	31
2.7.5. Análisis bromatológico de la biomasa fúngica	33
2.7.6. Análisis físico químico del sustrato remanente	34
2.8. Variables a evaluarse	35

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados	36
3.1.1. Caracterización físico química del sustrato	36
3.1.2. Análisis del desarrollo y crecimiento de <i>Pleurotus ostreatus</i> en el sustrato	37
3.1.3. Análisis de la producción del <i>Pleurotus ostreatus</i>	38
3.1.4. Análisis de la Eficiencia Biológica de <i>Pleurotus ostreatus</i>	39
3.1.5. Análisis del Rendimiento del <i>Pleurotus ostreatus</i>	40
3.1.6. Análisis Bromatológico de la Biomasa Fúngica	41
3.1.7. Análisis proximal del sustrato remanente	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. <i>Auicularia judae</i> _____	4
Figura 2-1. <i>Agaricus bisporus</i> _____	5
Figura 3-1. Tronco con setas de <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	5
Figura 4-1. Estructura de la celulosa _____	8
Figura 5-1. Estructura de la hemicelulosa _____	9
Figura 6-1. Estructura de la lignina _____	10
Figura 7-1. <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	15
Figura 8-1. Morfología de <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	16
Figura 1-2. Residuo de cáscara de haba (<i>Vicia faba</i>) _____	299
Figura 2-2. Siembra de las cepas de <i>P. ostreatus</i> en cajas Petri _____	29
Figura 3-2. Obtención de las cepas de <i>P. ostreatus</i> _____	30
Figura 4-2. Siembra de la semilla de <i>P. ostreatus</i> frascos de vidrio _____	311
Figura 5-2. Obtención de la semilla de <i>P. ostreatus</i> _____	31
Figura 6-2. Siembra del hongo <i>P. ostreatus</i> en cáscara de haba _____	32
Figura 7-2. Colonización de <i>P. ostreatus</i> en el sustrato _____	333
Figura 8-2. Fructificación de <i>P. ostreatus</i> en el sustrato _____	33
Figura 9-2. Cuerpos fructíferos del <i>P. ostreatus</i> _____	34
Figura 10-2. Sustrato remanente _____	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Taxonomía del haba _____	12
Tabla 2-1. Taxonomía del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	15
Tabla 3-1. Composición nutricional del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	19
Tabla 1-3. Análisis físico químico proximal de la cáscara de haba _____	366
Tabla 2-3. Tiempos de cada una de las etapas de producción de la cepa _____	377
Tabla 3-3. Producción en peso de <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	388
Tabla 4-3. Determinación de la eficiencia biológica del <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	399
Tabla 5-3. Determinación del Rendimiento del <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	40
Tabla 6-3. Análisis bromatológico de la biomasa de <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	41
Tabla 7-3. Análisis físico químico proximal del sustrato remanente _____	422

INDICE DE GRAFICOS:

Grafico 1-3. Diagrama del análisis físico químico proximal de la cáscara de haba _____	37
Grafico 2-3. Diagrama de las etapas de crecimiento del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> _____	388
Grafico 3-3. Diagrama de producción, eficiencia biológica y rendimiento promedios. _____	41
Grafico 4-3. Diagrama del análisis bromatológico de la biomasa fúngica _____	422
Grafico 5-3. Diagrama del análisis físico químico proximal del sustrato remanente _____	433

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue aprovechar el residuo lignocelulósico de la cáscara de haba (*Vicia faba*), como sustrato para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, en condiciones ambientales. El sustrato fue seleccionado del Cantón Guano de la provincia de Chimborazo y la obtención del inóculo se lo realizó en el laboratorio de biotecnología ambiental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Para la multiplicación del microorganismo se empleó el medio de cultivo Agar Sabouraud y para obtener la semilla se utilizó como soporte los granos de cebada, posteriormente en el sustrato lignocelulósico cáscara de haba se inoculó el hongo para su desarrollo en una relación del 10% con respecto a su peso, estos se colocaron en fundas plásticas transparentes las cuales fueron colocadas en la sala de incubación y colonización mantenidas a una temperatura de 28°C. Par el proceso de fructificación las fundas se colocaron en los estantes de madera con condiciones de luz, humedad y temperatura requeridas para el proceso de formación de los cuerpos fructíferos. La cepa de *Pleurotus ostreatus* demostró un crecimiento adecuado en el residuo, obteniéndose una producción promedio de biomasa de 210,07 g, alcanzando una eficiencia biológica y rendimiento de 123,14% y 19,70% respectivamente. De los resultados obtenidos de la investigación se concluye que el residuo de cáscara de haba constituye un sustrato adecuado para el cultivo del *Pleurotus ostreatus* y genera beneficios ambientales, por lo que se recomienda implementar esta estrategia para aprovechar los residuos agrícolas.

PALABRAS CLAVE: <RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS>, <SETA (*Pleurotus ostreatus*)>, <EFICIENCIA BIOLÓGICA>, <RENDIMIENTO>, <BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL>

ABSTRACT

This research aimed was to use the lignocellulosic residue of (*Vicia faba*), as substrate to grow fungus *Pleurotus ostreatus*, in environmental conditions. The sample was taken from Guano in Chimborazo Province and the inoculum was conducted in the environmental biotechnology laboratory at Sciences Faculty in Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. To increase the micro-organism it used medium Agar Sabourand gardening and for seed was used as support of barley grains, later in the substrate lignocellulosic shell bean was inoculated fungus for its development with 10% in their weight; they were placed in plastic bags to hatching and colonization in temperature of 28°C. For the process of fruiting the covers were placed on shelves and moderates with conditions of light, temperature and humidity required to the formation process in the fruit-bodies. Strain of *Pleurotus ostreatus* showed a growth in the waste, resulting in an average production of biomass 210, 07 g, reaching a biological efficiency and performance of 19,70% and 123,14%. It was concluded that, bean is a suitable *Pleurotus ostreatus* and generates environmental benefits, so it is recommended to implement this strategy to take agricultural advantage residues.

KEYWORDS: <LIGNOCELLULOSIC RESIDUES>, <SETA (*Pleurotus ostreatus*) >, <BIOLOGICAL EFFICIENCY>, <PERFORMANCE>, <ENVIRONMENTAL BIOTECHNOLOGY>

INTRODUCCIÓN

Identificación del problema

La actividad agrícola constituye una de las principales fuentes de economía de nuestro país, generando recursos para la población. El cultivo de leguminosas representa un amplio campo de producción fundamentalmente en la zona interandina de nuestro país.

La producción de leguminosas genera residuos en grandes cantidades que no son fácilmente degradados en el ambiente por sus características físico-químicas; y debido a que no tienen una disposición final adecuada; e incluso son quemados en el lugar de producción o abandonados, lo cual constituye una fuente de generación microbiana y contaminación ambiental.

La baja capacidad que tienen estos residuos de ser degradados naturalmente, se debe a sus características de resistencia que la proporcionan las moléculas presentes en los mismos como son la lignina, la celulosa y la hemicelulosa que en conjunto le dan las características lignocelulósicas.

Justificación de la investigación

La potencialidad de los residuos de la cosecha de las leguminosas como fuente de energía y alimento animal ha generado que se tenga muchos estudios dirigidos a incrementar los ingresos económicos utilizando los mismos, esto a través del empleo de tratamientos físico-químicos y biológicos permitiendo degradar el material aumentando su digestibilidad. Numerosos microorganismos capaces de degradar los componentes del complejo lignocelulósico, han sido considerados como agentes degradadores de la lignina en la naturaleza, entre los que se encuentran los hongos del grupo basidiomicetos, que requieren un bajo nivel de control ambiental y presentan una técnica de cultivo relativamente sencilla. Entre estos se encuentra *Pleurotus ostreatus*, que metaboliza selectivamente la fracción lignolítica dejando un residuo que puede ser utilizado como abono orgánico o como suplemento de alimentos para especies menores.

El hongo del género *Pleurotus*, es muy versátil, este presenta una amplia gama de especies comestibles, que se adaptan a diferentes condiciones ambientales. Esto permite el desarrollo del cultivo a menores costos, en diferentes regiones geográficas del mundo, ya que se pueden utilizar

cepas que resulten adecuadas para las diversas temperaturas reinantes en las regiones, siempre que éstas sean más o menos constantes. Las especies de *Pleurotus* tienen la característica de ser xilófagos, por lo cual se cultivan en diversos sustratos obtenidos de sobrantes de la industria agrícola y maderera, facilitándose una gran adaptabilidad a una economía regional y permitiendo mayor facilidad en el proceso de preparación del sustrato para la inoculación del hongo.

En el Ecuador y específicamente en la zona interandina los residuos de la actividad agrícola pueden ser aprovechados y utilizados como materia prima en la producción de hongos comestibles, a través de un fácil procedimiento, de biotransformación, empleando cepas del género *Pleurotus ostreatus*.

OBJETIVOS

Objetivo general

Aprovechar la cáscara de haba mediante el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Objetivos específicos

- Analizar las características físico químicas de los residuos lignocelulósicos de la cáscara de haba.
- Establecer y controlar los parámetros de crecimiento para el hongo *Pleurotus ostreatus*.
- Determinar la eficiencia biológica y el rendimiento del *Pleurotus ostreatus* cultivado en la cáscara de haba.
- Analizar la composición química de la biomasa fúngica obtenida.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Historia del cultivo de hongos comestibles

El cultivo de hongos comestibles se dio por primera vez con un hongo macroscópico comestible *Auricularia judae* en China cerca del año 600 de nuestra era; en Europa se cultivó champiñón inicialmente en Francia en el año 1650 dando inicio al cultivo comercial de los hongos y por muchos años los agricultores los vendían a los mercados mayoristas, sin embargo en 1852 surgió la idea de recoger trozos de “blanco de hongo” que es el micelio del champiñón y sembrarlo en los hoyos donde se depositaban las semillas de melón para su germinación, teniendo como resultado el buen desarrollo del mismo ya que al crecer junto al melón, estaba protegido del sol y las lluvias por las grandes hojas que este posee. En Alemania comenzó a practicarse la fungicultura a finales del siglo XIX teniendo en Renania el 50% de las instalaciones dedicadas al cultivo del champiñón. (Freire & Vásquez, 2015, p.7).



Figura 1-1. *Auricularia judae*

Fuente: (Nicholls, 2011, <http://www.naturespot.org.uk/species/jelly-ear-fungus>)

Investigaciones realizadas por Constantin y Matruchot en 1894 convirtieron la fungicultura en industria agraria pero siempre mantuvieron en secreto su método haciendo de esto un monopolio, hasta que en 1902 el estadounidense Ferguson publicó la descripción de las condiciones controladas para la germinación del champiñón dando fin al monopolio del mercado de cepas. Louis F. Lambert creó un laboratorio de cultivos puros en 1903 y sacó a la venta siete diferentes cepas de *Agaricus*

bisporus para su venta a productores estadounidenses en 1907. “En 1932, James W. Sinden entonces director del programa de investigación de hongos de la Universidad del Estado de Pensilvania patenta la producción de inóculo de grano” convirtiendo hasta el momento al sudeste de Pensilvania en el mayor productor de hongos de Estados Unidos. (Freire & Vásquez, 2015, p.7).



Figura 2-1. *Agaricus bisporus*

Fuente: (Jiménez, 2016, <http://www.amanitacesarea.com/agaricus-bisporus.html>)

En Alemania en el año 1917 se dio a conocer el primer reporte de producción de setas de *Pleurotus ostreatus* cultivados en tocones y troncos; más tarde en los años 70 México se convirtió en el pionero del cultivo de estas setas en América Latina. (Pérez, 2014). El cultivo de hongos ha ido aumentando en las últimas décadas siendo la producción de *Pleurotus ostreatus* la más prometedora debido a que se encuentra en segundo lugar en la producción de hongos comestibles a nivel mundial. (Jaramillo, 2013, p.1).



Figura 3-1. Tronco con setas de *Pleurotus ostreatus*

Fuente: (Pérez, 2014, <http://blog.alnatural.com.mx/hongo-seta-pleurotus-ostreatus/>)

El 14 de enero de 1955 el American Mushroom Institute (AMI) fue legalmente registrado como organización sin fines de lucro, cuyo propósito era promover el consumo de todos los hongos cultivados por medio de la investigación, publicidad, comercialización, educación de los consumidores y relaciones con el gobierno, así como por medio de ayudar a la industria a desarrollar mejores métodos de cultivo y de manejo. (Freire & Vásquez, 2015, p.8).

En 1985 fue creada en Illinois la National Mushroom Growers' Association para empezar la venta nacional de hongos frescos. En 1990 el Congreso aprobó la Ley sobre promoción, investigación e información al consumidor de hongos reforzando la posición de la industria del hongo en el mercado y en 1993 fue creado el Mushroom Council para llevar a cabo la administración de esta ley. (Freire & Vásquez, 2015, p.8).

En la actualidad la fungicultura se lleva a cabo en más de setenta países que junto al cultivo del champiñón se han multiplicado las investigaciones para poder producir otras especies de hongos gastronómicos en los países Orientales. (Freire & Vásquez, 2015, p.9).

1.1.2. *Cultivo de hongos comestibles en el Ecuador*

En el Ecuador el cultivo de hongos comestibles inició en el año 1969 con la llegada de la empresa Kennet S.A pero debido a la inestabilidad económica y política se ha observado que los pocos productores de hongos existentes carecen de una asistencia técnica especializada con miras a la profesionalización y es por ello también que la producción de hongos en el país ha tenido un crecimiento ínfimo razón por la cual no se ha podido cubrir ni de lejos con la demanda existente; el moderno productor debe realizar un sistema grupal que tiene una posibilidad cierta, efectiva y accesible económicamente, logrando tener una producción eficiente de alta calidad, el mismo que abarca desde la reproducción, manejo, instalaciones, sanidad, comercialización y asistencia técnica. (Freire & Vásquez, 2015, pp.22-23).

1.2. Marco Conceptual

1.2.1. *Residuos agroindustriales*

En los años 70 un grupo de biotecnólogos empezó sus investigaciones sobre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales para la elaboración de productos con valor agregado reduciendo el

impacto ambiental causado por la mala disposición final de estos. Hoy en día los diferentes estudios que se realizan buscan elaborar bioenergéticos y nuevas fuentes más económicas de alimento para animales. (Saval, 2012, p.15).

Las agroindustrias son aquellas que se dedican a la producción, almacenamiento y comercialización de los alimentos procedentes del campo como frutas, verduras, semillas, tubérculos, etc., ya sea en sus formas naturales o procesadas dejando al final de la fabricación los residuos agroindustriales que se los define como:

“Materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y/o social”. (Saval, 2012, p.15).

Los residuos agroindustriales están constituidos de celulosa, lignina, hemicelulosa y materia orgánica, que es su principal componente y debido a esta son conocidos como “residuos orgánicos”. Estos deben ser caracterizados para establecer su composición y la cantidad de materia orgánica, para encontrar su adecuado aprovechamiento teniendo en cuenta que se generará otro residuo más degradado que puede tener otra aplicación o puede convertirse en un desecho al cual se le deberá dar una adecuada disposición final. (Saval, 2012, p.16).

1.2.2. Celulosa

Es el componente que en mayor cantidad se encuentra en los tejidos de las plantas, es el más sencillo y abundante en la naturaleza ya que ocupa el 40-50% de la pared celular de la planta (Nevárez, 2012, p.6), lo cual le da la estructura y soporte formando un cristal impermeable al agua, lo que lo hace insoluble en agua y resistente a la hidrólisis. (Quizhpilema, 2013, p.14).

Su estructura esta formada de “un polímero de residuos de D-glucosa unidos por enlaces β 1-4, cuya estructura consiste en cadenas de celulosa unidas por puentes de hidrógeno intermoleculares que forman agregados”. Una molécula de celulosa esta formada de 3000 unidades de glucosa aproximadamente que pueden encontrarse en forma amorfa o cristalina. (Nevárez, 2012, p.6).

La celulosa puede ser degradada por medio de enzimas como endo- β -1,4-glucanasa, complejo Cx, y endo- β -1,4-glucidasa generados por hongos macromicetos. (Quizhpilema, 2013, p.14).

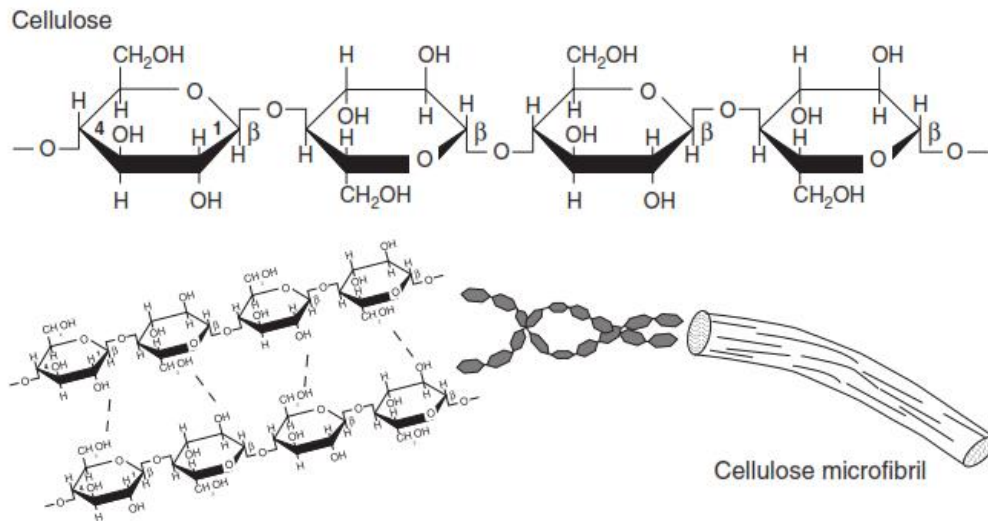


Figura 4-1. Estructura de la celulosa

Fuente: (Valdez, 2015, <http://vidaenelsuelo.blogspot.com/2015/07/el-ciclo-del-carbono-parte-ii-la.html>)

1.2.3. *Hemicelulosa*

Constituye el 20-40% de la pared celular de la planta, es un heteropolisacárido que tiene 15% de hexosas (D-glucosa, D-manosa y D-galactosa) y 85% de pentosas (75% D-xilosa y 10% L-arabinosa), ácidos metilglucurónico, galacturónico y glucurónico. (Saval, 2012, p.22).

Se considera uno de los componentes principales de la pared celular de la planta ya que envuelve las microfibrillas de la celulosa y es más compleja estructuralmente ya que su molécula principal que es el xiloglucano formado por unidades de D-glucosa con enlaces β -1,4 con ramificaciones terminales de xilosa con enlaces α -1,6 se conectan mediante puentes de hidrógeno y sus moléculas se unen por enlaces covalentes a la fracción péctica de la pared celular incrementando significativamente la resistencia de las células vegetales. (Nevárez, 2012, p.7).

Los hongos macromicetos pueden degradar la hemicelulosa produciendo enzimas como las xilasas, galactanasas, manasas, arabinasas y glucanasas. (Quizhpilema, 2013, p.15).

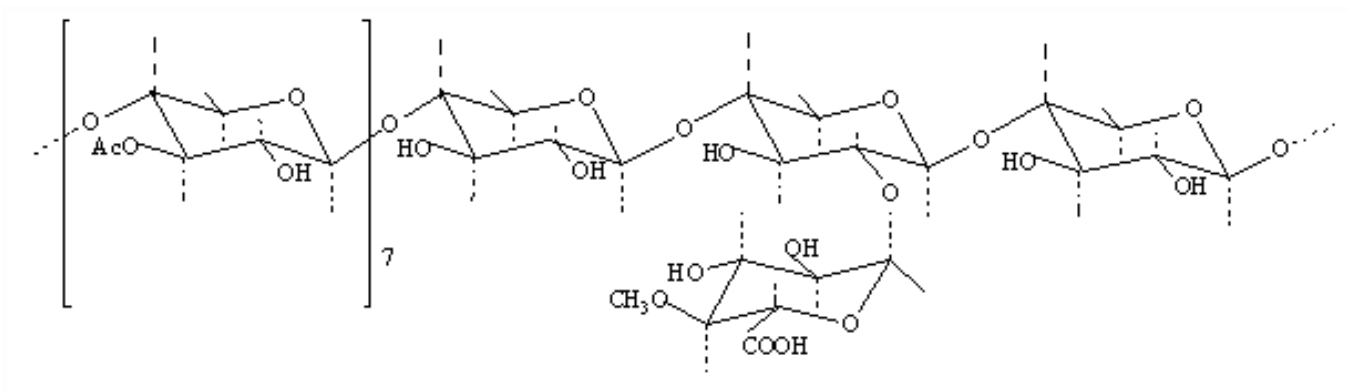


Figura 5-1. Estructura de la hemicelulosa

Fuente: (Carballo & Arteaga, 2016, https://plusformacion.com/Recursos/r/Hemicelulosas-maderas?quicktabs_ofertas_relacionadas_quicktab=1)

1.2.4. *Lignina*

Conforma el 10-25% de la pared celular de la planta, es un heteropolímero amorfo ramificado de naturaleza fenólica con grupos metoxi y fenilpropánicos formado por alcoholes aromáticos como cumarílico, coniferílico y simapílico. (Saval, 2012, p.22).

Es un compuesto muy resistente a la degradación, su estructura es “reticular tridimensional de anillos aromáticos unidos por átomos de oxígeno, la cual obstaculiza el acceso de enzimas hidrolíticas hacia las fibrillas celulósicas” cuya biotransformación es primordial en el ciclo del carbono ya que el proceso metabólico se da mediante mecanismos oxidantes extracelulares. (Nevárez, 2012, p.7).

Este polímero al actuar como aglomerante de las fibras debido a su carácter hidrófobo le proporciona la rigidez a las plantas y su estructura leñosa, además desarrolla mecanismos de defensa contra ataques microbianos y resistencia al estrés. (Nevárez, 2012, p.7).

Puede ser degradada por hongos micromicetos que para ello producen enzimas como la lacasa, lignina peroxidasa y manganeso peroxidasa. (Quizhpilema, 2013, p.15).

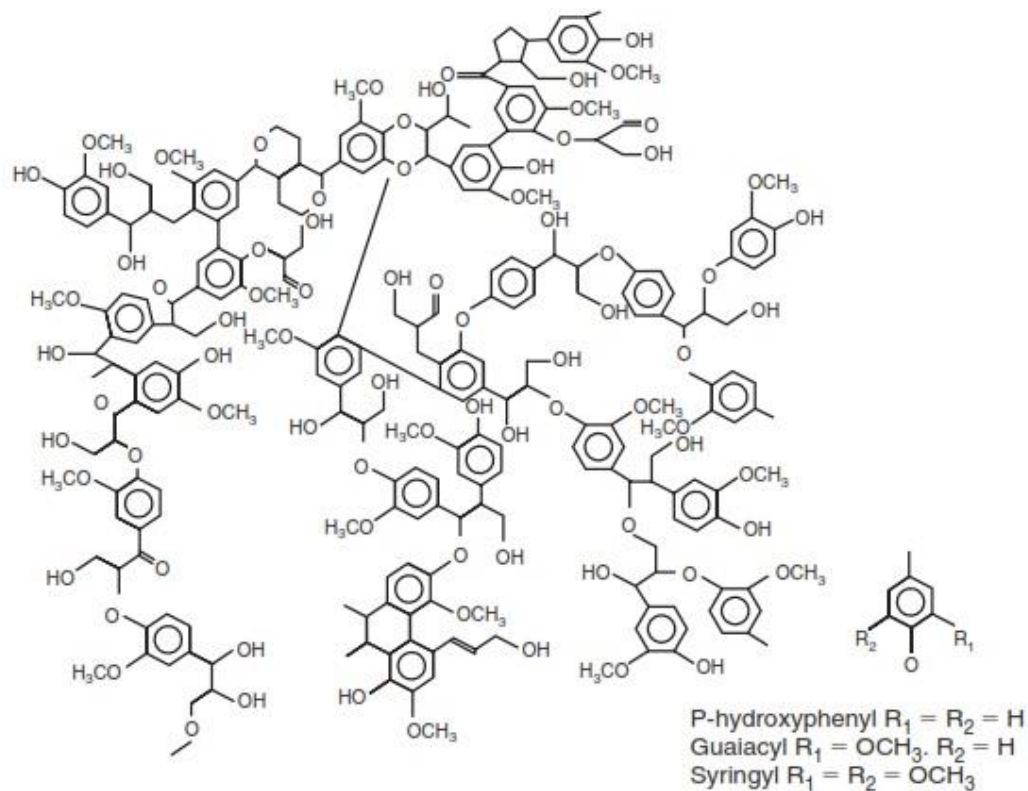


Figura 6-1. Estructura de la lignina

Fuente: (Valdez, 2015, <http://vidaenelsuelo.blogspot.com/2015/07/el-ciclo-del-carbono-parte-ii-la.html>)

1.2.5. Contaminación por residuos agroindustriales

Cuando se deposita los residuos agroindustriales en el suelo, a la intemperie y sin haber realizado un tratamiento previo se pueden convertir en residuos peligrosos ya que su descomposición genera la presencia de agentes infecciosos, que pueden causar daño tanto a humanos como animales y a los recursos naturales. Al no realizar medidas de remediación a tiempo se tiene como consecuencia la dispersión de contaminantes cuyo daño dependerá de las características físicas, químicas y biológicas que posea el residuo; pueden generarse lixiviados que filtren hasta el subsuelo y lleguen hasta los mantos acuíferos, los microorganismos pueden ser arrastrados por el viento y pueden generarse malos olores. (Saval, 2012, p.34).

Si un residuo agroindustrial posee características susceptibles de ser aprovechadas y no tiene condiciones insalubres, se los puede utilizar como sustrato en la aplicación del cultivo de hongos especialmente en los géneros *Thricoderma*, *Phanerochaete* y *Pleurotus* que producen enzimas capaces de degradar sustratos complejos. (Saval, 2012, p.35).

1.2.5.1. *Selección de residuos agroindustriales para su aprovechamiento biotecnológico*

(Saval, 2012, p.17) afirma que se deben seguir los siguientes criterios de selección de residuos con el fin de ser utilizados en procesos biotecnológicos:

- El componente principal del residuo debe tener la capacidad de ser utilizado como sustrato de la producción fermentativa en procesos industriales, o realizar extracciones para recuperar alguno de sus componentes que tenga una alta demanda en el mercado.
- Debe estar disponible en la localidad en las cantidades necesarias para poder fabricar el nuevo producto.
- No debe tener otras aplicaciones que compitan con el nuevo proceso que se desea crear.
- No debe requerir un pretratamiento pero en caso de hacerlo debe ser sencillo y económico.
- No debe descomponerse fácilmente bajo las condiciones ambientales de donde se genera.

1.2.5.2. *Usos biotecnológicos de residuos agroindustriales*

(Saval, 2012, p.17) indica algunos de los usos biotecnológicos que se pueden obtener de diversos tipos de residuos agroindustriales:

- Como sustrato para la producción fermentativa de metabolitos de interés.
- Como sustrato para la generación de bioenergéticos.
- Como mejoradores o acondicionadores de suelo obtenidos mediante composteo.
- Como suplemento alimenticio para animales.

1.2.6. *El haba*

El haba es una leguminosa dicotiledónea anual con un contenido proteico de alrededor de 25%, carbohidratos, 58% y el restante minerales; cuya principal característica es resistir las altas temperaturas sin perjudicar la producción y calidad del producto. (Basantes, 2015, p.25).

El inicio de su cultivo fue en medio Oriente, empezó a extenderse rápidamente hacia Asia, Europa y finalmente se introdujo en América principalmente en los países Andinos como México, Ecuador, Perú y Bolivia. (Carrión, 2015, p.11).

En Ecuador el cultivo de habas se encuentra distribuido en todas las provincias de la Sierra utilizando “alrededor de 9.653 hectáreas con un rendimiento promedio de 1,78 toneladas por hectárea” (Estrada, 2015, p.42).

1.2.6.1. Clasificación taxonómica del haba

Tabla 1-1. Taxonomía del haba

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Viridaeplantae</i>
Infrakingdom	<i>Streptophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Subdivisión	<i>Spermatophytina</i>
Infradivisión	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Superorden	<i>Rosanae</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Fabaceae</i>
Subfamilia	<i>Faboideae</i>
Tribu	<i>Fabeae</i>
Género	<i>Vicia</i>
Especie	<i>Vicia faba</i> L.

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

Fuente: (Villarreal, 2013, p.7)

1.2.6.2. Residuos del haba

El cultivo de habas se debe principalmente a la riqueza alimenticia de sus granos para el consumo humano; pero esta genera residuos que son mal manejados o no lo son durante la siembra, la cosecha y distribución final del producto. (Estrada, 2015, p.42)

El principal residuo que se obtiene de estos cultivos son las vainas o cáscaras del haba que al igual que el grano “contienen también una buena porción de principios nutritivos 7% de proteínas, 0.5% de grasas y 9% de hidratos de carbono” (Box, 2014). De igual manera cabe destacar que este residuo tiene una constitución leñosa es decir está compuesto de lignina, celulosa y hemicelulosa que en conjunto le dan características lignocelulósicas; por lo que su proceso de degradación natural es bajo convirtiéndose en un problema debido a que no tienen una disposición final adecuada; e incluso son quemados en el lugar de producción o abandonados, lo cual constituye una fuente de generación microbiana y contaminación ambiental. (Box, 2014).

Hoy en día se busca una manera de dar un nuevo uso a estos residuos y una de ellas es utilizarlo como alimento para el ganado; pero ha surgido otra alternativa que es usarlo como sustrato para el cultivo de hongos comestibles por las características que posee. (Serpa, 2015, p.2).

1.2.7. *Microorganismos que degradan los residuos lignocelulósicos*

Las plantas por ser recalcitrantes no pueden ser degradadas microbiana ni enzimáticamente en la naturaleza, pero para el ciclo del carbono es fundamental la biodegradación de residuos lignocelulósicos. Al utilizar diferentes sustratos en la biomasa celulósica con microorganismos se genera un producto final que puede ser aprovechado. Existen muchos microorganismos como bacterias aeróbicas y anaeróbicas y cepas de hongos que poseen actividades celulósicas. (Grijalva, 2013, p.2).

Entre las especies bacterianas lignocelulolíticas se encuentran *Trichonimpha*, *Clostridium*, *Actinomycetes*, *Bacteroides succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvenees* *Ruminococcus albus* y *Methanobrevibacter ruminantium* (Grijalva, 2013, p.2). Las bacterias celulíticas pueden degradar hidratos de carbono, ácidos grasos y alcoholes pero su función principal es degradar la celulosa mediante la producción de enzimas como endoglucanasas, celobiohidrolasas o exoglucanasas y β -glucosidasas. En el grupo de bacterias aeróbicas que degradan material celulósico se encuentran las del género *Cellulomonas* y *Streptomyces*. En el rumen de los animales también se pueden encontrar bacterias que degradan la celulosa mediante la producción de enzimas amilasas y proteasas y principalmente celulasas que hidrolizan los enlaces β de las fibras. (Peña & Vigoya, 2015).

Mientras entre las especies de hongos que pueden degradar la biomasa celulósica se encuentran las especies *Chaetomium*, *Fusarium*, *Myrothecium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Pleurotus*. Los hongos de podredumbre blanca son los más eficientes para la degradación de celulosa, lignina y contaminantes como compuestos aromáticos clorados, hidrocarburos heterocíclicos aromáticos y algunos colorantes y polímeros sintéticos. (Grijalva, 2013, p.2).

“Los hongos tienen dos tipos de sistemas enzimáticos extracelulares: el sistema hidrolítico, responsable de la degradación de polisacáridos, y el sistema lignolítico oxidativo y extracelular que degrada la lignina y abre los grupos fenilo” (Grijalva, 2013, p.4).

Los hongos de las especies *Trichoderma*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Pleurotus* producen celulasas y hemicelulasas extracelulares en un amplio rango, además se adaptan fácilmente a los diferentes ambientes para sobrevivir y colonizan los hábitats eficientemente. Por la gran capacidad de las especies fúngicas de degradar la lignocelulosa se ha iniciado la secuenciación de su genoma teniendo un total de 62 especies de hongos encontrándose entre ellas 6 basidiomicetes y 27 ascomicetes. (Grijalva, 2013, p.5).

Se utilizan estas especies debido a que pertenecen a los hongos de podredumbre blanca es decir que son capaces de crecer y degradar grandes cantidades de residuos agrícolas y forestales. (Jaramillo, 2013, p.1).

1.2.8. *Pleurotus ostreatus*

El hongo *Pleurotus ostreatus* es un hongo comestible cuya fuente de alimento es la materia orgánica constituida de compuestos lignocelulósicos, es decir que se alimenta de lignina, celulosa y hemicelulosa que son azúcares encontrados principalmente en paja, maíz, caña, trigo, cebada y demás residuos que tengan estas características. (Miranda, 2013, p.3).

El cultivo de este hongo ha tenido un desarrollo muy rápido alrededor de todo el mundo en especial en las últimas décadas ya que tiene la capacidad de desarrollarse en una gran variedad de sustratos dándole una importancia adicional en el ámbito ecológico y ambiental por el uso de residuos agroindustriales para su obtención, además posee elevadas propiedades alimenticias y medicinales altamente beneficiosas para el hombre. (Nevárez, 2012, p.22).

En Ecuador se inició el cultivo de este hongo en el 2007 por pequeños productores del Simiaco, en pequeñas instalaciones ubicadas en Cayambe-Coca. (Miranda, 2013, p.3).



Figura 7-1. *Pleurotus ostreatus*

Fuente: (Katsaros, 2012, http://ncrfungi.uark.edu/species/88_pleurotusOstreatus/pleurotusOstreatus.html)

1.2.8.1. Clasificación taxonómica del hongo *Pleurotus ostreatus*

Tabla 2-1. Taxonomía del hongo *Pleurotus ostreatus*

Reino	Fungi
División	<i>Basidiomycotina</i>
Clase	<i>Homobacidiomicete</i>
Subclase	<i>Hymenomicete</i>
Orden	<i>Agaricales</i>
Familia	<i>Tricholomataceae</i>
Género	<i>Pleurotus</i>
Especie	<i>ostreatus</i>

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

Fuente: (Quizhpilema, 2013, p.7)

1.2.8.2. Características morfológicas del hongo

(Miranda, 2013, p.3) señala que el cuerpo de las setas se constituye principalmente de: sombrero, pie reducido y láminas:

- **Sombrero (Píleo):** Tiene forma de paraguas, más o menos circular, su desarrollo se da en forma de una ostra u oreja. El color es muy variable, crema, blanco grisáceo, pardo, etc. La carne blanca es de olor fuerte, tierno al principio y después correoso.
- **Láminas (Himenio):** Están dispuestas radialmente como las varillas de un paraguas, que van desde el pie o tallo que lo sostiene, hasta el borde. Son anchas, espaciadas unas de otras, blancas o crema, a veces bifurcadas, y en ellas se producen las esporas destinadas a la reproducción de la especie.
- **Pie (Estípite):** Es firme, blanco, algo peludo en la base. Muy corto, algo lateral u oblicuo, ligeramente duro, con el principio de las laminillas en la parte de arriba.

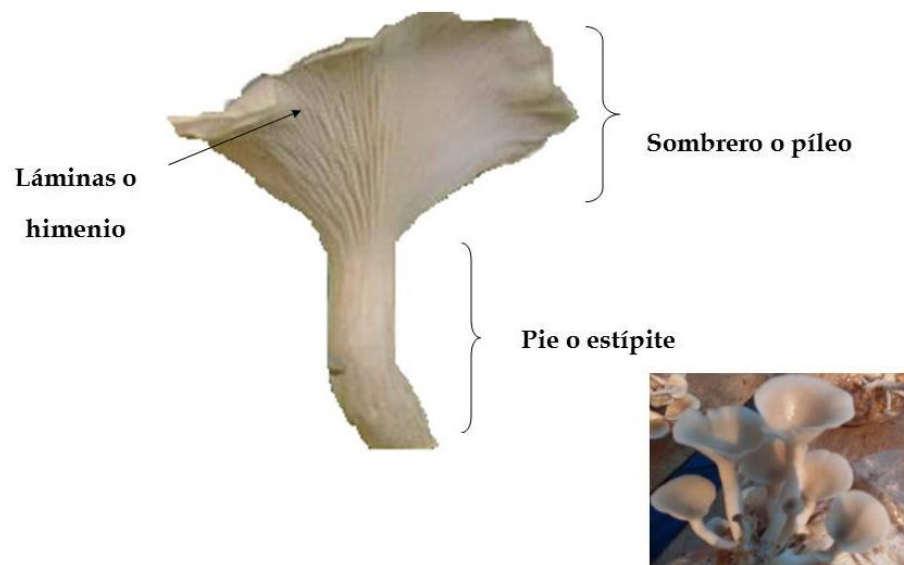


Figura 8-1. Morfología de *Pleurotus ostreatus*

Fuente: (Martínez, 2013, <http://implecultivo.blogspot.com/>)

1.2.8.3. *Condiciones ambientales para el desarrollo de *Pleurotus ostreatus**

Tanto para el crecimiento del micelio como para el desarrollo del cuerpo fructífero del hongo es necesario mantener las condiciones ambientales de la siguiente manera:

1.2.8.3.1. *Temperatura*

Los hongos degradadores de residuos lignocelulósicos crecen y se desarrollan de mejor forma a temperaturas entre 20 - 30°C, siendo su temperatura óptima de crecimiento 28°C ya que se ha comprobado que existe un mejor desarrollo de las cepas de *Pleurotus ostreatus* a esta temperatura, por lo que es necesario monitorearla regularmente para que se mantenga dentro del rango establecido. Durante la fase de fructificación del hongo la temperatura oscila entre 16 - 22°C siendo también muy importante controlarla para evitar que la humedad del ambiente afecte la calidad del producto. (Nevárez, 2012, p.27).

Se debe tener en cuenta también la temperatura interna del sustrato, la cual no debe exceder los 35°C porque podría dar paso al desarrollo de otro tipo de organismos termófilos y de mohos que pueden inhibir el crecimiento del hongo deseado. (Quizhpilema, 2013, p.11).

1.2.8.3.2. *Humedad del sustrato*

La humedad del sustrato va a facilitar la degradación del mismo por lo que debe encontrarse entre 70 - 80%, es importante mantener el rango de humedad durante la fructificación para que el hongo tenga un aspecto agradable y pueda ser comercializado; si existe un exceso de humedad se frenará el desarrollo de los micelios ya que al estar los espacios llenos de agua el hongo se ahogará al no tener lugar en donde depositar sus enzimas lo cual limita la colonización. (Nevárez, 2012, p.28).

El contenido de humedad de los hongos es de 90% razón por la cual es importante mantener el medio húmedo, sobre todo después de la primera cosecha. (Quizhpilema, 2013, p.11).

1.2.8.3.3. *Humedad del ambiente*

Es necesario mantener la humedad del ambiente entre 70 - 90% durante el proceso de todo el cultivo para que esta no afecte al desarrollo del cuerpo fructífero. (Jaramillo, 2013, p.9).

1.2.8.3.4. *Luz*

Durante la fase de fructificación es muy importante colocar el cultivo a la luz natural. (Jaramillo, 2013, p.9). Exponerlo a una luminosidad moderada no afecta el crecimiento y desarrollo de las setas pero si lo haría el exponerlo directamente a la luz del sol (Quizhpilema, 2013, p.11) ya que no existirá desarrollo micelial o este se retrasara mucho, además se debe tener en cuenta que la falta de luz o el exceso de esta puede provocar el crecimiento de hongos contaminantes que van a impedir el crecimiento de las setas deseadas. (Ortiz & Muñoz, 2014, p.12).

1.2.8.3.5. *Aireación*

La aireación es muy importante durante la fase de fructificación del hongo, este se desarrolla en concentraciones entre 20000 a 30000 ppm de CO₂, es necesario realizar constantes ventilaciones de aire para que no exista el ataque de bacterias anaerobias que aprovechan la baja cantidad de oxígeno y el alta cantidad de CO₂ para alimentarse e inhibir el crecimiento del hongo. (Jaramillo, 2013, p.9).

Se puede presentar problemas durante el cultivo del hongo como contaminación por esporas de otros hongos de rápido crecimiento, ataque de bacterias, aumento de CO₂ y bajo contenido de oxígeno y por ello para evitarlo se debe realizar un control estricto de la humedad del sustrato y utilizar ventiladores. (Jaramillo, 2013, p.9).

1.2.8.4. *Propiedades nutricionales del hongo*

Tabla 3-1. Composición nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus*

Sustancias		Cantidad
Proteínas	Peso seco	10-30%
Carbohidratos	Fibra cruda	14-57%
	Fibra dietética	47%
Lípidos	De tipo neutro	20-30%
	Glicolípidos	10%
	Fosfolípidos	60-70%
Grasas		1%
Vitaminas	Tiamina (Vitamina B1)	4.8-7.8 mg/100 g
	Riboflavina (Vitamina B2)	4.7-4.9 mg/100 g
	Niacina (Vitamina B5)	55-109 mg/100 g
	Ácido ascórbico (Vitamina C)	36-58 mg/100 g
	Ácido Fólico	65 mg/100 g
Minerales	Nitrógeno total	2.40%
	Calcio	33 mg/100 g
	Fósforo	1.34 mg/100 g
	Potasio	3793 mg/100 g
	Hierro	15.20 mg/100 g

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

Fuente: (Sejnaui, 2015, p.26)

1.2.8.5. *Características biotecnológicas del hongo Pleurotus ostreatus*

Investigaciones han descubierto un gran potencial biotecnológico del hongo tanto para la parte ambiental como para la medicinal al implementarlo en la dieta alimenticia:

1.2.8.5.1. **Ámbito ambiental**

- **Biorremediación:** Una de las ventajas de este hongo es su uso en biorremediación ya que sus hifas pueden penetrar en suelos contaminados y producir enzimas que degradan los contaminantes demostrándose así la capacidad de este para absorber metales pesados del suelo. (Jaramillo, 2013, p.10).

El uso de hongos para biorremediación presenta más ventajas que usar bacterias ya que sus hifas pueden penetrar en los suelos contaminados y producir enzimas extracelulares que degradan los contaminantes, también son excelentes acumuladores de metales pesados como cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc. (Paredes, 2011, p.21).

- **Tratamiento de efluentes:** Este hongo producen enzimas lacasas que son capaces de catalizar la oxidación, polimerización, despolimerización, metilación y dimetilación de compuestos fenólicos, cloroligninas y colorantes encontrados en los efluentes de industrias de fabricación de pulpa de papel, de textiles y otras que contengan estos compuestos contaminantes. (Paredes, 2011, p.pp.21-22).
- **Control de enfermedades de plantas:** Se ha comprobado que el hongo sirve para este fin ya que al aislar glicopéptidos formados por glucosa, arabinosa, galactosa, manosa y xilosa se descubrió que son excelentes fungicidas y antibióticos para tratar y controlar algunas enfermedades que adquieren las plantas. (Jaramillo, 2013, p.10).
- **Micofiltración:** El hongo es utilizado en suelos para favorecer la filtración de patógenos biológicos y químicos, ayudando también a controlar la erosión del suelo. (Contreras, 2015, p.4).
- **Micoforestación y micojardinería:** Se utiliza el micelio del hongo para cultivarlo junto a otras plantas para favorecerlas y protegerlas. (Contreras, 2015, p.4).
- **Micopesticidas:** También se utiliza el micelio del hongo para atraer y controlar las poblaciones de insectos que dañan los cultivos, además se extraen enzimas del hongo para generar nematicidas orgánicos que no provocan daños en las plantas. (Contreras, 2015, p.4).

1.2.8.5.2. **Ámbito medicinal:**

- **Efectos antitumorales:** El hongo tiene grandes cantidades de polisacáridos de estructura molecular compleja que son capaces de retardar y disminuir el tamaño de algunos tumores y prevenir la aparición de nuevos, aportando al individuo células de defensa contra células cancerígenas. (Sejnavi, 2015, p.26).
- **Efectos antivirales:** Los polisacáridos encontrados en este hongo no solamente ayudan a combatir células cancerígenas, también ayudan a fortalecer el sistema inmune del individuo combatiendo agentes infecciosos de origen tanto viral como bacteriano, por lo tanto puede ser coadyuvante para el tratamiento de enfermedades autoinmunes como SIDA, Lupus y Artritis reumatoide. (Sejnavi, 2015, p.27).
- **Efecto antiinflamatorio:** Este hongo además está formado por componentes aromáticos volátiles que son los responsables del aroma y sabor que tiene, estos componentes también le dan una capacidad antibiótica alta, manifestando tener una buena capacidad antibacteriana y antiinflamatoria contra agente infecciosos. (Sejnavi, 2015, p.27).
- **Control del colesterol:** El consumo frecuente del hongo reduce el nivel de ácidos grasos en la sangre y el colesterol en el hígado, puede ayudar a evitar el endurecimiento de las arterias y por lo tanto las enfermedades cardiovasculares. Se ha encontrado también Lovastatin en su forma natural que es utilizado como principio activo de medicamentos para tratar la hipercolesterolemia ya que ayuda a bajar el colesterol, triglicéridos y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL). (Sejnavi, 2015, pp.27-28).
- **Efecto hepatoprotector:** Además de proteger al hígado del colesterol y triglicéridos mediante un experimento con ratas sometidas a una dieta de alcohol étlico se comprobó que las que consumieron el hongo tuvieron una protección de su estructura hepática en un 40%, lo cual también puede aplicarse al hombre. (Sejnavi, 2015, p.28).
- **Efecto antihipertensión:** Al disminuir la cantidad de colesterol en la sangre la presión arterial también disminuye, al ser el hongo rico en minerales especialmente en potasio ayuda a la disminución de la hipertensión arterial, por la presencia de metaloproteínas en el hongo existe una mejor absorción intestinal de sus minerales. (Sejnavi, 2015, p.28).

- **Efecto antioxidante:** El hongo es una fuente potencial de bio-antioxidantes, es decir que protege a las células del estrés oxidativo, contribuye a la normal función del sistema nervioso, mejora las características psicológicas, reducción del cansancio y fatiga, normal metabolismo energético, normal formación de colágeno para la función normal de los huesos y dientes. (NUTRINAT, 2016)

1.2.9. *Fermentación en estado sólido (FES)*

La FES es un complejo proceso de transformaciones microbiológicas sobre materiales sólidos, donde el contenido de líquido en el sistema está al nivel correspondiente de la actividad del agua, para asegurar el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos así como la formación de productos deseables, pero sin exceder la capacidad máxima de retención de agua de la sustancia sólida. (Benítez, 2016, pp.4-5).

Para la realización de un cultivo mediante la FES se utiliza como materias primas los residuos procedentes de las plantas, ya que contienen nutrientes como hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, entre otros que sirve como fuente de carbono para los microorganismos. (Nevárez, 2012, p.18).

Este tipo de fermentación es usada como un proceso biotecnológico para el cultivo de hongos comestibles debido a que se caracteriza por ser “la forma más eficiente de conversión de residuos vegetales en alimento de alto valor nutricional cuya importancia ecológica de esta actividad económica radica en la utilización y reciclaje de subproductos agrícolas y agroindustriales que pueden ser puros o mezclados” (Nevárez, 2012, p.19).

1.2.9.1. *Características de la FES*

(Benítez, 2016, p.5) nombra las características más importantes de la FES que son las siguientes:

- Puede involucrar cultivos mixtos, microbiota indígena y la del sustrato, o ambas.
- Provee de un ambiente selectivo para un gran número de hongos filamentosos, bacterias y actinomicetos.

- Las enzimas hidrolíticas para la degradación de compuestos de alto peso molecular que son extracelulares, podrán estar libres o adheridas a la superficie de la matriz
- Proveen de mezcla de fuentes de energía y carbono y una diversidad de fuentes complejas de nutrientes.
- El crecimiento microbiano y la formación del producto ocurren cerca o en la superficie de la fase líquida, la cual está en la interface sólido – gas.
- Crecimiento apical del micelio podría permitir que se produzca simultáneamente metabolismos secundario y primario en diferentes partes del micelio.
- Los hongos comúnmente empleados son aerobios estrictos.
- Los sustratos comúnmente empleados incluyen granos de cereales, legumbres y residuos lignocelulósicos, entre otros.
- El sustrato sólido debe estar en una forma que permita la libre circulación de aire.
- El nivel de humedad del sustrato sólido, así como las demás variables a tener en cuenta en el proceso, se deben determinar para cada especie y, probablemente, para cada cepa, en dependencia del proceso productivo en cuestión.
- El nivel de líquido del sustrato para la fermentación no debe sobrepasar su nivel de retención, se toma como límite superior un 80% de humedad.
- La presencia de compuestos de carbono de altos y bajos pesos moleculares hace complejo los procesos de inducción, represión e inhibición de las enzimas.
- La humedad ligada y libre de forma externa o interna, respecto a la superficie sólida, existe en una proporción determinada por la isoterma característica del sustrato.
- La interface líquido – gas es el límite para el intercambio de oxígeno – dióxido de carbono y para la transferencia de energía cuando la relación entre la superficie del líquido y el volumen es alta.
- La densidad de biomasa de la fase líquida puede ser elevada y esto da como resultado una demanda de oxígeno y una producción de dióxido de carbono muy alta, combinado con un incremento de la temperatura.

1.2.9.2. *Ventajas de la FES*

(Benítez, 2016, p.7) describe las ventajas de la realización de la fermentación en estado sólido:

- Contiene baja demanda de agua lo que disminuyen los residuos líquidos durante el proceso.
- Alta concentración y mayor estabilidad de los productos.
- Menor represión catabólica.
- No necesita altas condiciones de esterilización.
- Debido a los espacios entre las partículas tiene una adecuada aireación
- Por la alta concentración de sustrato tiene una mayor producción volumétrica.

1.2.9.3. *Factores que intervienen en la FES*

1.2.9.3.1. *Temperatura*

Es uno de los factores más importantes en este tipo de fermentación, en donde siempre van a existir valores máximos y mínimos de crecimiento, se debe definir un rango en el cual va a adquirir un valor óptimo para el desarrollo de los microorganismos dependiendo del tipo que se esté utilizando. (Benítez, 2016, p.9). Para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* la temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre 28 - 35°C ya que es un hongo filamentoso mesófilo. (Serpa, 2015, p.12).

Se debe realizar un control minucioso de esta variable ya que por la alta concentración de sustrato y la baja conductividad térmica se puede acumular el calor y aumentar la temperatura del cultivo provocando la deshidratación del medio que llevará a la falta de nutrientes y por lo tanto a la detención y muerte de la actividad microbiana. (Benítez, 2016, p.9).

1.2.9.3.2. *Humedad y actividad del agua*

El agua facilita la disolución de nutrientes y metabolitos en el medio y mantiene homogéneas las condiciones del cultivo para los microorganismos, por ello es importante mantener el porcentaje de humedad del sustrato dentro del rango adecuado para el crecimiento del tipo de microorganismo que se desee obtener. Al elevarse el nivel de humedad pueden sustraerse los nutrientes del medio, aumentar la porosidad y por lo tanto aumenta el riesgo de contaminación bacteriana mientras que al disminuir el nivel de humedad los metabolitos adquieren concentraciones inhibitorias que causan la disminución de actividad enzimática y la inhibición del crecimiento microbiano. (Benítez, 2016, p.8).

La actividad del agua (a_w) del sustrato sólido que también puede ser expresada como humedad es fundamental para el crecimiento microbiano, permite caracterizar las interacciones físicas y químicas del agua en el sistema y esta varía dependiendo del microorganismo, sólido que se utilice y el producto que se quiera llegar a obtener. (Benítez, 2016, p.8).

La medida óptima de humedad varía entre 30 - 80% dependiendo del sustrato que se utilice y del microorganismo que se desea obtener, por ello el *Pleurotus ostreatus* al ser un hongo filamentoso necesita contenidos de humedad mayores a 80% para que pueda existir una mayor degradación del residuo vegetal. (Serpa, 2015, p.12).

1.2.9.3.3. pH

El pH es muy difícil de controlar en la FES, al existir valores desfavorables pueden afectar el funcionamiento de las enzimas que altera la actividad y transporte de nutrientes llevando a una mayor sensibilidad a agentes tóxicos. Ya que el pH puede llegar a valores que inhiben el crecimiento microbiano es preferible utilizar microorganismos que crezcan en un amplio rango. Durante todo el desarrollo del *Pleurotus ostreatus* se debe mantener el rango de pH de 5.5 - 6.5 debido a que los hongos no pueden crecer y desarrollarse en un pH ácido. (Benítez, 2016, pp.9-10).

1.2.9.3.4. Aireación

La aireación del medio es necesaria para proveer de oxígeno al medio y extraer el dióxido de carbono y el calor metabólico generados que pueden dañar el cultivo. Para administrar el flujo de aire adecuado se debe tomar en cuenta el microorganismo utilizado y la cantidad de oxígeno que requiere, la velocidad con la que se genera calor, el espesor de la masa del sólido y la formación del producto; estos factores son importantes ya que la mayoría de microorganismos que se encuentran en la FES son aerobios. Los cultivos de *Pleurotus ostreatus* tanto en la incubación como en la fructificación se deben mantener en lugares con flujo de aire normal y donde no se acumule el calor. (Benítez, 2016, p.10).

1.2.9.3.5. *Tamaño de las partículas*

El tamaño de las partículas también es muy importante para la FES debido a su relación con la aireación del medio de la siguiente manera: mientras más pequeño sea el tamaño de la partícula también será menor el grosor de la cama lo que favorece a una buena oxigenación durante la fermentación, pero si son demasiado pequeños el sustrato se puede compactar y por lo tanto inhibir el crecimiento de microorganismos aerobios, en cambio si las partículas son muy grandes disminuye el espacio para la transferencia y crecimiento microbiano. (Benítez, 2016, pp.10-11).

La granulación del sustrato debe permitir una circulación de aire de 15 - 35% y una circulación de agua de 20 - 60% en relación al volumen total para que pueda existir un correcto desarrollo del hongo. (Serpa, 2015, p.13).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Hipótesis y especificación de las variables

2.1.1. *Hipótesis General*

La cáscara de haba constituye una fuente nutritiva para el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*.

2.1.2. *Variables*

2.1.2.1. *Variable Independiente*

Cáscara de haba

2.1.2.2. *Variables Dependientes*

- Crecimiento del hongo
- Eficiencia biológica
- Rendimiento

2.2. Tipo y Diseño de Investigación

La investigación es de tipo exploratoria y el diseño de la investigación es experimental debido a que la variable a observar y/o medir es el crecimiento del hongo.

Diseño Experimental:

Es un diseño completamente al azar (DCA), con un tratamiento, tres ciclos de producción y 8 repeticiones de cada uno, realizando los tratamientos bajo las mismas condiciones ambientales, con lo cual se tiene un total de 24 unidades experimentales.

2.3. Unidad de Análisis

Cada unidad experimental consta de una bolsa 1000 g de sustrato por lo que se tiene un total de 24 unidades experimentales.

2.4. Población de Estudio

La población de estudio está representada por las 24 unidades experimentales.

2.5. Tamaño de Muestra

El tamaño de la muestra constituye las 24 unidades experimentales.

2.6. Selección de Muestra

Residuo lignocelulósico cáscara de haba (*Vicia faba*).

2.7. Etapas de Investigación

2.7.1. Análisis físico químico del residuo de la cáscara de haba

Para determinar las características físico químicas del residuo lignocelulósico se realizó el Análisis Bromatológico mediante el método de Weende, que consiste en separar a partir de la muestra una serie de fracciones que presentan ciertas características comunes de solubilidad o insolubilidad en diferentes reactivos. Con este método se obtienen cinco principios nutritivos brutos que incluyen: cenizas, proteína bruta, extracto etéreo o grasa bruta, fibra bruta y la humedad.



Figura 1-2. Residuo de cáscara de haba (*Vicia faba*)

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

2.7.2. Conservación y reproducción de las cepas de *Pleurotus ostreatus*

Las cepas de *Pleurotus ostreatus*, se mantuvieron en medio sólido de agar sabouraud, que constituye un medio sólido comercial selectivo para hongos, elaborado de la siguiente manera: 65 g del medio de cultivo se disuelven en 1000 ml de agua destilada; con lo cual se realizó los cálculos de acuerdo a las cajas que se necesitó tomando en cuenta que cada caja ocupa 15 ml, se disolvió y se calentó en un reverbero eléctrico hasta que la solución estuvo completamente transparente (no debe hervir). Seguidamente se esterilizó en una autoclave por 30 minutos a 15 libras de presión y 120°C, este medio posteriormente se colocó en las cajas Petri, en las cuales se dejó solidificar a 4°C antes de su uso. Una vez solidificado el medio se sembró las cepas del hongo *Pleurotus ostreatus* y se incubó a una temperatura de 28 °C por 8 días.

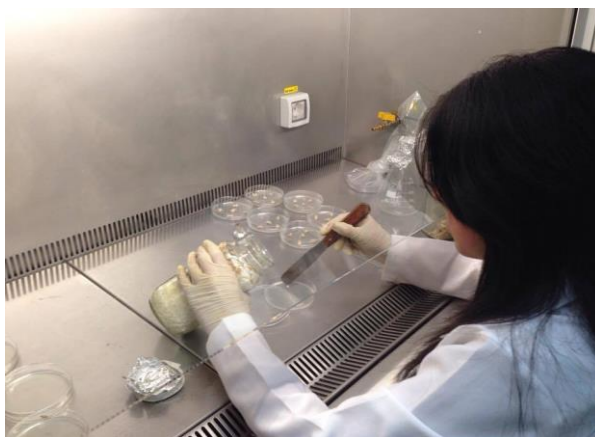


Figura 2-2. Siembra de las cepas de *P. ostreatus* en cajas Petri

Realizado por: Marcela Martínez. 2017



Figura 3-2. Obtención de las cepas de *P. ostreatus*

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

2.7.3. Obtención del inóculo o semilla de *Pleurotus ostreatus*

Con el micelio obtenido de *Pleurotus ostreatus* de las cajas Petri se procedió a obtener la semilla cultivando el micelio en frascos. Se cultivó en frascos de vidrio de aproximadamente 500 g con granos de cebada que se les dio un tratamiento previo.

A los granos de cebada se los lavó para eliminar cualquier impureza con bastante agua, una vez limpios se los dejó en remojo de agua a temperatura ambiente por 24 horas para que adquieran una humedad del 80%, al siguiente día se escurrió el agua, luego se sumergió en una solución de Benomyl al 0.02% por 10 minutos para evitar las contaminaciones con otros tipos de hongos.

Al grano húmedo se colocó en los frascos hasta las $\frac{3}{4}$ partes del mismo (380 g aproximadamente) y se procedió a esterilizar en autoclave a 121°C durante 45 minutos se esperó que se enfríen y se los agitó con la finalidad de separar los granos entre si y favorecer una aireación e hidratación homogénea.

Con el grano ya en los frascos en la cámara de flujo laminar se cultivó el micelio de *Pleurotus ostreatus* cortando pedazos del mismo sembrado en agar sabouraud. Para finalizar se incubó a una temperatura de 28 °C durante 12 días.



Figura 4-2. Siembra de la semilla de *P. ostreatus* frascos de vidrio

Realizado por: Marcela Martínez. 2017



Figura 5-2. Obtención de la semilla de *P. ostreatus*

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

2.7.4. Preparación del sustrato y desarrollo de la fermentación sólida con *Pleurotus ostreatus*

Una vez obtenida la semilla de *Pleurotus ostreatus* se procedió a cultivarla en los residuos de cáscara de haba para obtener ya el hongo.

Adquirido el residuo se lo cortó en pedazos de 1-1.5 cm y posteriormente se lavó los residuos para eliminar las impurezas que podían existir, luego se sumergió los residuos en agua fría durante 12 a 24 horas para que estos alcancen una humedad de 70-80% pasado este tiempo se escurrió los

residuos para eliminar el exceso de agua y se pasteurizó durante 1 hora a una temperatura de 90 °C después se los sumergió en una solución de Benomyl al 0.02% por 1 hora y luego se escurrió para quitar el exceso y se dejó secar al sol hasta obtener una humedad del 50%.

El residual secado al sol se colocó en un mesón de laboratorio esterilizado previamente y se mezcló con el inóculo de *Pleurotus ostreatus* de los frascos previamente desgranado en una porción de 10% con respecto al peso del sustrato húmedo, se llenó las $\frac{3}{4}$ partes de las fundas transparentes con esta mezcla, se cerraron bien y se pesó cada funda antes de llevarlas a incubar.

Se suspendió las fundas dentro de un armario para su incubación en la oscuridad y a una temperatura de 28 °C obtenida mediante un calentador eléctrico, al pasar 48 horas se realizó perforaciones en las fundas con la ayuda de un bisturí para favorecer la aireación para el hongo. Se mantuvo estas condiciones hasta que se dio la invasión completa del hongo en el sustrato.

Cuando el sustrato fue colonizado completamente se sacaron las fundas y se colocó en la ventana para que reciba la luz natural y se mantuvo una temperatura de 25-28°C y una humedad de 70-80% mediante un vaporizador, también se ventiló y se realizó regadíos con agua corriente. Después de 9 días salieron los primordios, a los 8 días fructificaron los hongos y se cosechó y pesó tanto la masa fúngica con el residual de cáscara de haba para poder obtener los cálculos de eficiencia biológica y rendimiento.



Figura 6.2. Siembra del hongo *P. ostreatus* en cáscara de haba

Realizado por: Marcela Martínez. 2017



Figura 7.2. Colonización de *P. ostreatus* en el sustrato

Realizado por: Marcela Martínez. 2017



Figura 8.2. Fructificación de *P. ostreatus* en el sustrato

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

2.7.5. Análisis bromatológico de la biomasa fúngica

Para determinar las características físico químicas de la biomasa fúngica también se realizó el Análisis Bromatológico mediante el método de Weende para obtener las cantidades existentes de cenizas, proteína bruta, extracto etéreo o grasa bruta, fibra bruta y humedad presente en el hongo.



Figura 9.2. Cuerpos fructíferos del *P. ostreatus*

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

2.7.6. *Análisis físico químico del sustrato remanente*

Al igual que con las residuos de cáscara de haba y la biomasa fúngica se realizó el Análisis Bromatológico mediante el método de Weende para obtener las cantidades existentes de cenizas, proteína bruta, extracto etéreo o grasa bruta, fibra bruta y humedad presentes en el sustrato remanente después de haber realizado la cosecha ya que unos debieron haber aumentado por la impregnación del hongo en la cáscara de haba y otros disminuido por ser la fuente de alimento para el crecimiento del hongo.



Figura 10.2. Sustrato remanente

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

2.8. Variables a evaluarse

Las variables que se van a analizar son:

- **Producción:** Es la suma del peso en gramos (g) que se obtiene de la cosecha del hongo *Pleurotus ostreatus*.
- **Eficiencia Biológica (EB):** Es la relación entre el peso del hongo fresco sobre el peso del sustrato seco por cien.

$$\text{Eficiencia biológica} = \frac{\text{Peso fresco del hongo (g)}}{\text{Peso seco del sustrato (g)}} \times 100$$

- **Rendimiento:** Es la relación entre el peso del hongo fresco sobre el peso del sustrato húmedo por cien.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del hongo fresco}}{\text{Peso del sustrato húmedo}} \times 100$$

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Con la finalidad de llevar una secuencia lógica en el análisis e interpretación de resultados se estableció el siguiente esquema:

3.1.1. Caracterización físico química del sustrato

Los datos del análisis físico químico del sustrato se evidencian en la tabla 1-3.

Tabla 1-3. Análisis físico químico proximal de la cáscara de haba

Parámetros	Resultado
Humedad	7,22%
Proteína (Base seca)	10,71%
Grasa (Base seca)	0,56%
Fibra (Base seca)	22,03%
Ceniza (Base seca)	8,47%

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

La caracterización físico químico proximal realizada al residuo de cáscara de haba (Tabla 1-3) evidencia que este sustrato contiene los requerimientos nutricionales necesarios para el proceso de desarrollo y fructificación del hongo *Pleurotus ostreatus*, especialmente en lo concerniente al contenido del indicador de proteína y fibra (Gráfico 1-3) que constituyen la mayor parte del residuo y que son las fuentes primarias de alimento para el desarrollo del hongo cuyos valores se encuentran muy cercano al estudio realizado por Quizhpilema, (2013).

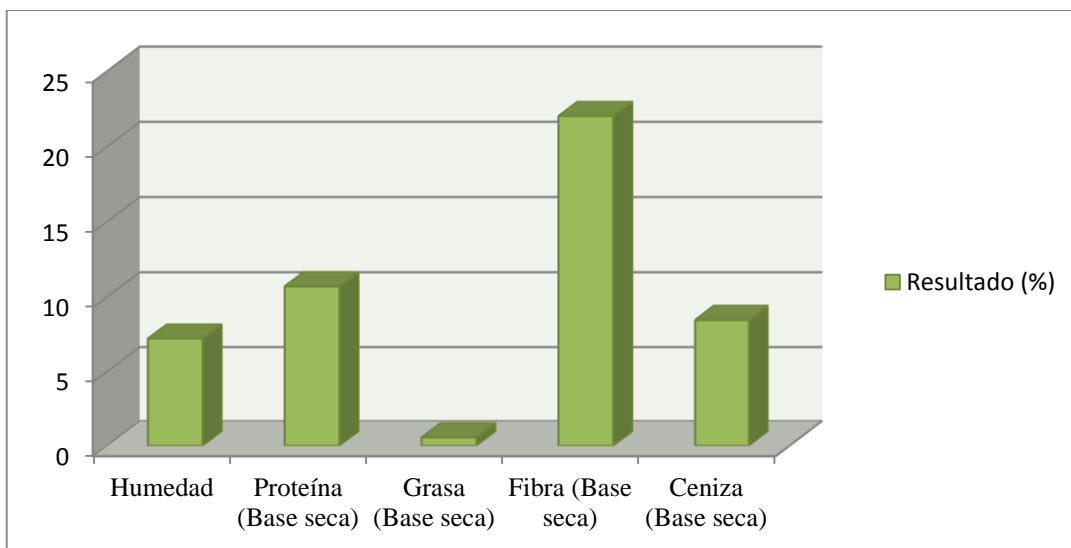


Grafico 1-3. Diagrama del análisis físico químico proximal de la cáscara de haba

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

3.1.2. Análisis del desarrollo y crecimiento de *Pleurotus ostreatus* en el sustrato

En la tabla 2-3 se observan los períodos requeridos para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en condiciones ambientales.

Tabla 2-3. Tiempos de cada una de las etapas de producción de la cepa

Etapas	Días
Reproducción de las cepas	8
Obtención de las semillas	12
Reproducción del hongo en el sustrato	8
Desarrollo de los primordios	9
Fructificación del hongo	8
Total del proceso	45

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

Los tiempos de desarrollo del hongo *Pleurotus ostreatus* (Tabla 2-3) requeridos en cada una de las etapas se encuentran acorde a lo manifestado en otras investigaciones (Gráfico 2-3) ya que el total del proceso realizado se encuentra muy cercano al valor de tiempo de desarrollo requerido del hongo obtenido en la investigación realizada por Nevárez, (2012).

Se debe mencionar que para tener un mejor crecimiento de las semillas del hongo fue necesario utilizar fragmentos de micelio de las cajas Petri de 3 cm de diámetro además de que estos deben ser frescos ya que si se tiene mucho tiempo guardado el micelio en las cajas su medio de alimento que es el agar empieza a secarse y por lo tanto el hongo de igual manera lo cual evitará una buena obtención de las semillas, el proceso de fructificación tuvo una característica de vigorosidad.

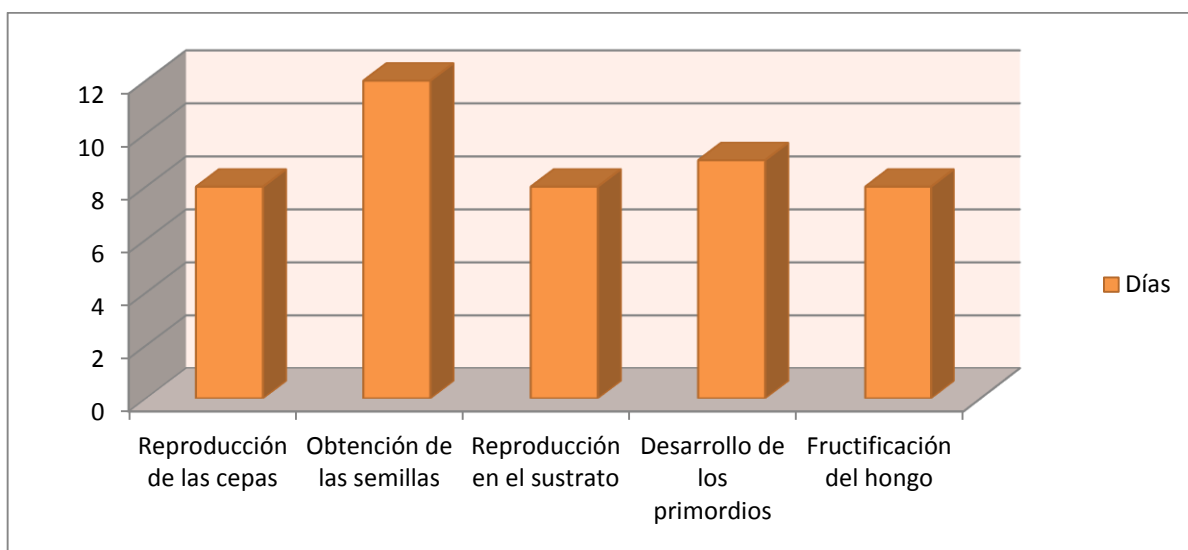


Grafico 2-3. Diagrama de las etapas de crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

3.1.3. Análisis de la producción del *Pleurotus ostreatus*

En la tabla 3-3 se indican los valores promedio de producción del *Pleurotus ostreatus* en el sustrato obtenidos en las dos cosechas.

Tabla 3-3. Producción en peso de *Pleurotus ostreatus*

Repeticiones	Producción (g)
1 ^{ra} replica	170,49
2 ^{da} replica	225,03
3 ^{ra} replica	234,68
Total promedio	210,07

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

De la tabla 3-3 se puede evidenciar que la producción promedio general de *Pleurotus ostreatus* fue de 210,07 g, de la cual se puede notar que fue aumentando en cada repetición obteniendo la mayor cantidad en la tercera replica y con un promedio de diámetro de las orejas del cuerpo fructífero de 8-11cm; estos valores se encuentra cercanos a los obtenidos por la investigación hecha por Quizhpilema, (2013).

3.1.4. Análisis de la Eficiencia Biológica de *Pleurotus ostreatus*

La eficiencia biológica es uno de los parámetros más utilizados para evidenciar la potencialidad del uso de un sustrato como medio de cultivo en la producción de *Pleurotus ostreatus*.

La tabla 4-3 evidencia los valores promedio de eficiencia biológica obtenidos en las tres replicas

Tabla 4-3. Determinación de la eficiencia biológica del *Pleurotus ostreatus*

Repeticiones	EB (%)
1^{ra} replica	99,41
2^{da} replica	131,33
3^{ra} replica	138,68
Total promedio	123,14

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

Los resultados de la tabla 4-3 demuestran que al ser la tercera replica tiene la mayor eficiencia biológica promedio, mientras que la eficiencia biológica general fue de 123,14% dato que se encontró muy parecido a los obtenidos por la investigación realizada por Nevárez, (2012).

La eficiencia biológica se encuentra en dependencia de la granulometría de las partículas del sustrato, lo que permite una mejor aireación, eliminación de CO₂ y una mayor facilidad de crecimiento micelial.

3.1.5. Análisis del Rendimiento del *Pleurotus ostreatus*

El rendimiento constituye otro parámetro importante para medir la factibilidad de uso de un sustrato como medio de cultivo para la producción de *Pleurotus ostreatus*.

En los datos de la tabla 5-3 se indica los valores promedio de rendimiento obtenidos en las tres replicas.

Tabla 5-3.Determinación del Rendimiento del *Pleurotus ostreatus*

Repeticiones	Rendimiento (%)
1^{ra} replica	16,17
2^{da} replica	19,88
3^{ra} replica	23,06
Total promedio	19,70

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

Los resultados de la tabla 5-3 permiten determinar que el rendimiento general del *Pleurotus ostreatus* en el residuo de cáscara de haba fue de 19,70%, el mismo que se encuentra muy cercano a los datos obtenidos por la investigación realizada por Quizhpilema, (2013) quien utilizó tres sustratos orgánicos en base a tamo de cereales que fueron trigo, avena y cebada.

En el gráfico 3-3 se observan los valores de producción, eficiencia biológica y rendimiento promedios del *Pleurotus ostreatus* utilizando el residuo cáscara de haba.

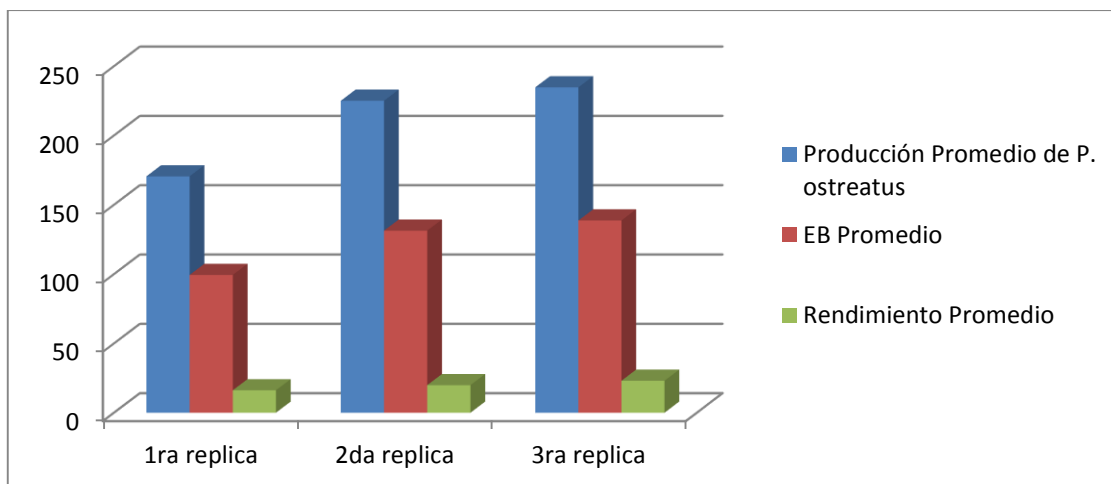


Grafico 3-3. Diagrama de producción, eficiencia biológica y rendimiento promedios.

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

3.1.6. Análisis Bromatológico de la Biomasa Fúngica

El análisis bromatológico de los cuerpos fructíferos permite valorar las características nutricionales que posee el *Pleurotus ostreatus*.

En la tabla 6-3 se detalla los valores obtenidos de la biomasa de *Pleurotus ostreatus*.

Tabla 6-3. Análisis bromatológico de la biomasa de *Pleurotus ostreatus*

Parámetros	Resultado
Humedad	93,12%
Proteína (Base seca)	48,84%
Grasa (Base seca)	5,38%
Fibra (Base seca)	12,65%
Ceniza (Base seca)	10,17%

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

De los datos de la tabla 6-3 se considera que el *Pleurotus ostreatus* posee los requerimientos necesarios para ser considerado como un alimento con alto valor agregado especialmente por tener un porcentaje considerable de proteína lo cual se acerca mucho a los datos obtenidos en la investigación realizada por Quizhpilema, (2013), además de la bibliografía se establece también que

el contenido de aminoácidos esenciales es adecuado para ser utilizado para ser utilizado como alimento humano.

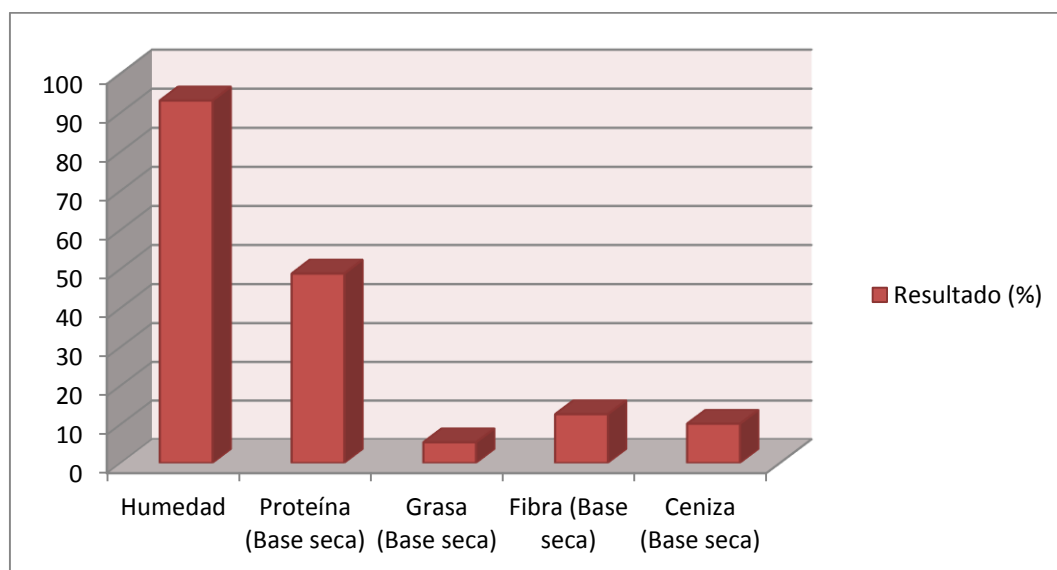


Grafico 4-3. Diagrama del análisis bromatológico de la biomasa fúngica

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

3.1.7. *Análisis proximal del sustrato remanente*

En la tabla 7-3 se evidencia los datos obtenidos del sustrato remanente.

Tabla 7-3. Análisis físico químico proximal del sustrato remanente

Parámetros	Resultado
Humedad	9,6%
Proteína (Base seca)	17,70%
Grasa (Base seca)	1,05%
Fibra (Base seca)	5,69%
Ceniza (Base seca)	26,55%

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

De los datos de la tabla 7-3 se puede evidenciar que la humedad, proteína, grasa y ceniza aumento con respecto a los datos de la tabla 1-3 debido a que el hongo deja parte de su micelio impregnado

en la cáscara de haba, también se puede evidenciar que la fibra disminuyó debido a que el hongo la consume para su crecimiento. Estos datos están acorde con la investigación realizada por Quizhpilema, (2013).

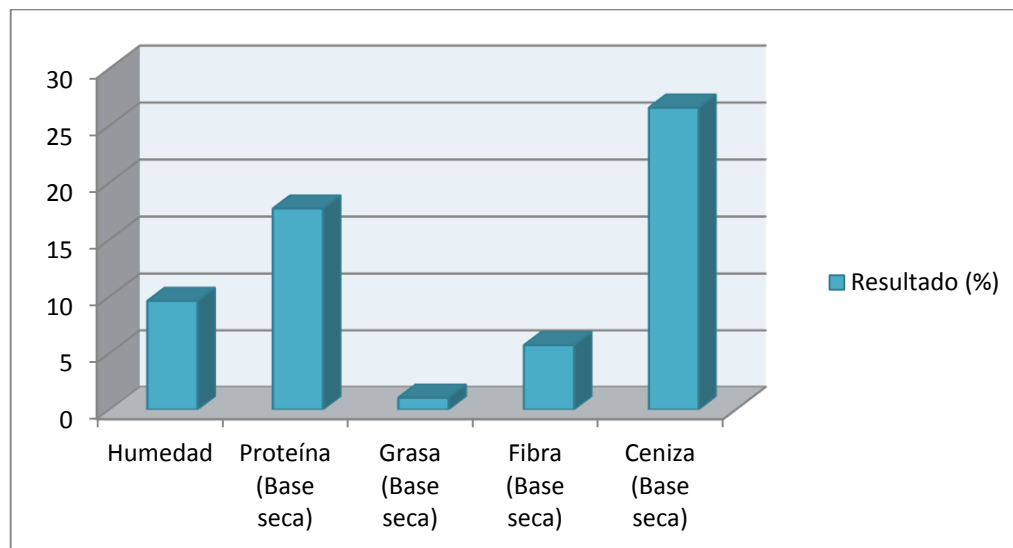


Grafico 5-3. Diagrama del análisis físico químico proximal del sustrato remanente

Realizado por: Marcela Martínez. 2017

CONCLUSIONES

- De los datos obtenidos del análisis físico químico proximal de la cáscara de haba se puede decir que este constituye un sustrato adecuado para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* ya que contiene los nutrientes necesarios para que el hongo pueda tener un óptimo desarrollo.
- Los parámetros de crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* como la temperatura y humedad se controlaron con la ayuda de un termo higrómetro.
- El cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivado en la cáscara de haba tuvo resultados aceptables por cuanto los valores de producción, eficiencia biológica y rendimiento están dentro de los requerimientos para ser considerado como sustrato adecuado en la obtención de alimentos.
- Al realizar el análisis bromatológico de la biomasa fúngica se pudo evidenciar que este tiene una elevada cantidad de proteínas cuyo valor es 48,84% y una baja cantidad de grasas que es 5,38%, lo cual hace al hongo apto para el consumo humano por los altos nutrientes y las bajas calorías que proporciona.

RECOMENDACIONES

- Utilizar el residuo de la cáscara de haba como sustrato para el cultivo del *Pleurotus ostreatus* en combinación con otros residuos agrícolas para obtener resultados mejores a los obtenidos.
- Utilizar el residuo remanente del cultivo del *Pleurotus ostreatus* en cáscara de haba en la elaboración de abono orgánico o también como complemento de balanceados de especies menores.
- Compartir la información obtenida en la investigación con las organizaciones dedicadas a la actividad agrícola para incentivar el aprovechamiento del residuo de cáscara de haba en la producción del *Pleurotus ostreatus* y así obtener beneficios sociales, ambientales y económicos.

BIBLIOGRAFÍA

BASANTES, Emilio. *Manejo de Cultivos Andinos del Ecuador*. [En línea]. (Tesis Pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Ecuador. 2015. pp. 25-26. [Consulta: 17 de Febrero de 2017]. Disponible en:

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>

BENÍTEZ, Alexis. *Utilización de diferentes niveles de urea en la dinámica de fermentación de la pulpa de café para uso en la alimentación de rumiantes en la provincia de Loja*. [En línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2016. pp. 4-11. [Consulta: 17 de Febrero de 2017]. Disponible en:

<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10282/1/TESIS%20FINAL.pdf>

BOX, José. *El cultivo de las habas*. [En línea]. 2014. [Consulta: 17 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.tecnicoagricola.es/el-cultivo-de-las-habas/>

CARBALLO, Leila, & ARTEAGA, Yasiel. (2016). *Hemicelulosa de maderas*. [En línea]. Cuba. 2016. [Consulta: 27 de Mayo de 2017]. Disponible en:

https://plusformacion.com/Recursos/r/Hemicelulosas-maderas?quicktabs_ofertas_relacionadas_quicktab=1

CARRIÓN, Kleber. *Elaboración y evaluación nutricional de galletas funcionales a base de harina de haba (*Vicia faba* L.) enriquecidas con extracto hidrofílico de camote (*Ipomoea batatas* L.)*. (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 11-12.

CONTRERAS, Israel. “Cultivo y bioaplicaciones del hongo *Pleurotus ostreatus*”. *Congreso Latinoamericano de Agroecología*. [En línea]. 2015. (Argentina). p. 4. [Consulta: 19 de Junio de 2017]. Disponible en:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/52639/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

ESTRADA, Paola. *Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de Café de Haba con filtrantes en el cantón Cayambe* [En línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2012. pp. 37-42. [Consulta: 17 de

Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3821/1/UPS-QT03302.pdf>

FREIRE, Henry, & VÁSQUEZ, Washington. *Propuesta de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de champiñones en la ciudad de Cuenca.* [En línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2015. pp. 6-9. [Consulta: 23 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7796/1/UPS-CT004646.pdf>

GRIJALVA, Nubia. “Degradación de residuos vegetales mediante inoculación con cepas microbianas”. *Enfoque UTE.* [En línea]. 2013. (Ecuador). 4(1), pp. 2-6. [Consulta: 18 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/21/20>

JARAMILLO, Iván. *Evaluación de tres Residuos Agroindustriales Lignocelulósicos provenientes de Cebada (*Hordeum vulgare* L.), Arroz (*Oryza sativa*), Eucalipto (*Eucaliptus globulus* L.), para el cultivo de dos Cepas de Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus* F.), bajo Invernadero.* (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 1-10.

JIMÉNEZ, Jorge. *Agaricus bisporus.* [En línea]. 2016. [Consulta: 2 de Marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.amanitacesarea.com/agaricus-bisporus.html>

KATSAROS, Peter. *Pleurotus ostreatus.* [En línea]. 2012. [Consulta: 2 de Marzo de 2017]. Disponible en: http://ncrfungi.uark.edu/species/88_pleurotusOstreatus/pleurotusOstreatus.html

MARTÍNEZ, José. *Implementación del cultivo de hongo comestible Pleurotus ostreatus en la región de Orizaba, Ver.* [En línea]. 2013. [Consulta: 28 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://implecultivo.blogspot.com/>

MIRANDA, María. *Evaluación del Sustrato Post-Producción de Hongos Comestibles Pleurotus Ostreatus en la Alimentación de Cuyes.* (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. p. 3.

NEVÁREZ, Daniela. *Aprovechamiento de residuos agroforestales para el cultivo de hongos comestibles (Pleurotus sp.).* [En línea]. (Tesis Pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Durango, México. 2012. pp. 6-22. [Consulta: 28 de Febrero de 2017]. Disponible en: http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18443/Tesis_Nev%C3%A1rez_Qui%C3%B1ones_Daniela_201.pdf?sequence=1

NICHOLLS, David. *Auricularia judae.* [En línea]. 2011. [Consulta: 2 de Marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.naturespot.org.uk/species/jelly-ear-fungus>

NUTRINAT. *Antioxidantes Bio.* [En línea]. 2016. [Consulta: 24 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://nutrinat.com/producto/antioxidantes-bio/>

ORTIZ, Francisco, & MUÑOZ, María. “Control sanitario del cultivo de *Pleurotus ostreatus*”. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.* [En línea]. 2014. España. pp. 3-12. [Consulta: 28 de Junio de 2017]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjzrJmctOnUAhUNfiYKHAv-AKwQFggqMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.juntadeandalucia.es%2Fagriculturaypesca%2Fifapa%2F-%2Faction%2F90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad%2F5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83%2Fes%2F02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944%2FalfrescoDocument%3Fi3pn%3DcontenidoAlf%26i3pt%3DS%26i3l%3Des%26i3d%3De5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83%26contentId%3D6fa98e7c-9b8b-41a5-8e7b-50bebb5e897f&usg=AFQjCNESwyHoPd2Pb59cvnU34xX6akoHzw>

PAREDES, Jessica. *Aplicación del hongo Pleurotus ostreatus como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados.* [En línea]. (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2011. pp. 20-22. [Consulta: 17 de Febrero de 2017]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21150/1/D-92862.pdf>

PEÑA, Ntalia, & VIGOYA, Lusby. *Microorganismos descomponedores de material lignocelulósico.* [En línea]. 2015. [Consulta: 29 de Mayo de 2017]. Disponible en: https://prezi.com/g_7r2-g_yxhf/microorganismos-descomponedores-de-material-lignocelulosico/

PÉREZ, Juan. *Historia del hongo Pleurotus spp.* [Blog]. 2014. [Consulta: 28 de Junio de 2017]. Disponible en: <http://blog.alnatural.com.mx/hongo-seta-pleurotus-ostreatus/>

QUIZHPILEMA, Ligia. *Validación de la Tecnología para la Producción e Industrialización de Hongos Comestibles Pleurotus ostreatus Utilizando Sustratos Orgánicos.* (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 7-15.

SAVAL, Susana. “Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro. Biotecnología” *Biotecnología*. [En línea]. 2012. México. 16(2). pp. 14-46. [Consulta: 2 de Marzo de 2017]. Disponible en:

http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37368310/Saval_Residuosagroindustriales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1499120256&Signature=VqM9EBGxb2twuKYFRb5mvuVDea4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSoluciones_agroindustriales.pdf

SEJNAUI, Michel. *Evaluar el establecimiento de una unidad de producción del hongo pleurotus ostreatus cultivado sobre polvillo de bagazo de caña de azúcar con fines de responsabilidad social de la Fundación Propal.* [En línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Outónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia. 2015. pp. 24-29. [Consulta: 17 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/8640/1/T06424.pdf>

SERPA, María. *Eficiencia de crecimiento del hongo Trichoderma Harzianum Rifai para la producción de bioplaguicida, aprovechando el residuo agroindustrial de cáscara de haba (Vicia faba L.).* (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 11-14.

VALDEZ, Renzo. *El ciclo del Carbono- Parte II: La lignina, el carbono recalcitrante.* [Blog]. Lima. 2015. [Consulta: 27 de Mayo de 2017]. Disponible en: <http://vidaenelsuelo.blogspot.com/2015/07/el-ciclo-del-carbono-parte-ii-la.html>

VILLARREAL, Amparo. *Obtención de un sucedáneo del café a partir de haba y fréjol tostados.* [En línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2013. p. 7. [Consulta: 2 de Marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/892/1/T-UCE-0017-21.pdf>