

**APROVECHAMIENTO DE LA HOJARASCA DE ROBLE (*Quercus humboldtii*)  
EN LA PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE (*Pleurotus ostreatus*)**



Universidad  
del Cauca

**PILAR SUDIANY VARGAS SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL  
POPAYÁN  
2009**

**APROVECHAMIENTO DE LA HOJARASCA DE ROBLE (*Quercus humboldtii*)  
EN LA PRODUCCIÓN DEL HONGO COMESTIBLE (*Pleurotus ostreatus*)**



**Universidad  
del Cauca**

**PILAR SUDIANY VARGAS SÁNCHEZ**

**Trabajo de grado en la modalidad de Trabajo de Investigación para optar al  
título de Ingeniera Forestal**

**DIRECTOR  
JOSÉ LUIS HOYOS  
Ingeniero Agroindustrial**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA FORESTAL  
POPAYÁN  
2009**

**Nota de aceptación:**

El director y los jurados han revisado este documento, han escuchado la sustentación del mismo por el autor y lo encuentran satisfactorio.

---

**JOSÉ LUIS HOYOS**  
Director

---

**IVAN ENRIQUE PAZ**  
Jurado

---

**ROMAN OSPINA**  
Jurado

**Popayán, Septiembre de 2009**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Dora y Bernardo por inculcarme la vocación de la educación y el ser una persona útil en la sociedad*

*A mis hermanos Fernando Andrés y Cesar Mauricio, por su ejemplo, sus palabras de apoyo, y su colaboración.*

*A mis familiares, por ser parte importante en mi vida.*

*A todas las personas especiales que contribuyeron en la realización de este proyecto.*

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que colaboraron con esta investigación, especialmente al ingeniero José Luís Hoyos, el director del trabajo de investigación, y a todas aquellas personas vinculadas a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca que contribuyeron a la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HONGOS COMESTIBLES DEL GÉNERO <i>PLEUROTUS</i>	15
1.2 BIOLOGÍA GENERAL DE LA ESPECIE <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i>	15
1.2.1 Descripción	16
1.2.2 Composición química	17
1.2.3 Crecimiento	17
1.2.4 Plagas y enfermedades en el cultivo de	18
1.3 DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO	19
1.3.1 Bagazo de caña	19
1.3.2 Hojarasca de Roble ( <i>Quercus humboldtii</i> )	20
1.4 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i>	22
1.4.1 Recolección del material	22
1.4.2 Adquisición del hongo	22
1.4.3 Adecuación del sustrato	23
1.4.4 Inoculación	24
1.4.5 Incubación	24
1.4.6 Fructificación	24
1.4.7 Cosecha	24
2. ANTECEDENTES	25
3.1 LOCALIZACIÓN	27
3.2 CUANTIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DE MATERIAL	28

	pag.
3.3 CULTIVO DEL HONGO	30
3.3.1 Diseño experimental	30
3.3.2 Procedimiento del cultivo	30
3.3.3 Variables de respuesta	34
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 CUANTIFICACIÓN DE HOJARASCA	36
4.2 CULTIVO DEL HONGO	37
4.2.1 Contaminación	38
4.2.2 Plagas y enfermedades	38
4.2.3 Colonización	41
4.2.3 Producción de setas	43
4.2.4 Calidad de las setas	46
4.2.5 Condiciones ambientales	48
4.2.6 Composición nutricional de sustratos.	48
5. CONCLUSIONES	51
6. RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA CITADA	54
BIBLIOGRAFÍA CITADA	54
BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA	58
ANEXOS	59

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica	15
Cuadro 2. Composición Química del hongo comestible <i>P. ostreatus</i>	17
Cuadro 3. Parámetros medioambientales para la fructificación del hongo <i>Pleurotus</i>	18
Cuadro 4. Análisis bromatológico del bagazo de caña (análisis en peso seco)	20
Cuadro 5. Composición del bagazo (% de base seca)	20
Cuadro 6. Clasificación taxonómica	20
Cuadro 7. Cantidad de hoja verde por árbol	22
Cuadro 8. Contenido de nutrientes en hojas verdes y hojas secas del Roble	22
Cuadro 9. Diseño experimental	30
Cuadro 10. Cantidad de hoja verde en los dos árboles (seis meses)	36
Cuadro 11. Porcentajes de contaminación en las fórmulas evaluadas en la producción de <i>P. ostreatus</i>	38
Cuadro 12. Prueba microbiológica	39
Cuadro 13. Porcentajes de Colonización vs Tiempo para diferentes fórmulas evaluadas	41
Cuadro 14. Producción promedio del hongo <i>P. ostreatus</i> para cada cosecha (g)	43
Cuadro 15. Eficiencias biológicas promedio (%) de cada fórmula en la producción total de <i>P.ostreatus</i>	44
Cuadro 16. Condiciones ambientales presentes en la fructificación de <i>Pleurotus ostreatus</i>	48
Cuadro 17. Análisis proximal de sustrato inicial y final de hojarasca de roble (% base seca)	48
Cuadro 18. Análisis proximal de sustrato inicial y final de bagazo de caña (%base seca)	50



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Hongo seta con sus partes principales	16
Figura 2. Árboles seleccionados de <i>Quercus humboldtii</i> , Vereda la Capilla, Municipio de Cajibío	27
Figura 3. Invernadero de incubación y fructificación ubicado en la ciudad de Popayán	28
Figura 4. Trampas de hojarasca de roble, ubicadas en la Vereda La Capilla, Municipio de Cajibío	29
Figura 5. Hojarasca de roble y bagazo de caña recolectados en la Vereda La Capilla, Municipio de Cajibío	29
Figura 6. Triturado de la hojarasca de roble	31
Figura 7. Pasteurización de los sustratos	31
Figura 8. Implementos de inoculación	32
Figura 9. Incubación en invernadero	32
Figura 10. Fructificación	33
Figura 11. Diagrama de flujo	34
Figura 12. Recolección de la hojarasca de roble en la Vereda La Capilla, Municipio de Cajibío	37
Figura 13. Contaminación del sustrato de roble en la etapa de incubación	39
Figura 14. Contaminación en cultivo de hojarasca de roble no pasteurizado	40
Figura 15. Colonización de bagazo de caña a 20 días de la inoculación	41
Figura 16. Primera fructificación de <i>Pleurotus ostreatus</i> en bagazo de caña y hojarasca de roble	43
Figura 17. Eficiencia biológica promedio (%) de los sustratos en la producción total de <i>P. ostratus</i> .	45
Figura 18. Setas de <i>P. ostreatus</i> color gris claro y color blanco castaño en el crecimiento inicial y final	47

pago.

Figura 19. Setas con diámetros de 5 a 10 cm obtenidas durante la etapa de la cosecha

47

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis de varianza contaminación	60
Anexo B. Análisis de varianza colonización 8 días	60
Anexo C. Prueba de Tukey colonización 8 días	60
Anexo D. Análisis de varianza colonización 16 días	60
Anexo E. Prueba de Tukey colonización 16 días	61
Anexo F. Análisis de varianza colonización 20 días	61
Anexo G. Análisis de varianza para la eficiencia biológica en la producción total	61
Anexo H. Prueba de Tukey para la eficiencia biológica en producción total	61
Anexo I. Análisis de varianza para la primera cosecha	61
Anexo J. Prueba de Tukey primera cosecha	62
Anexo K. Análisis de varianza segunda cosecha	62
Anexo L. Prueba de Tukey segunda cosecha	62
Anexo M. Análisis de varianza tercera cosecha	62
Anexo N. Prueba de Tukey tercera cosecha	62
Anexo O. Colonización de <i>P. ostratus</i> (%) en las cinco fórmulas evaluadas	63
Anexo P. Peso en (g) de la producción de setas <i>P.ostreatus</i>	63
Anexo Q. Eficiencia biológica (%) de las fórmulas en la producción de setas	63
Anexo R. Eficiencia biológica (%) de la primera cosecha	64
Anexo S. Eficiencia biológica (%) de la segunda cosecha	64
Anexo T. Eficiencia biológica (%) de la tercera cosecha	64

## GLOSARIO

**BAGAZO:** residuo fibroso de la caña de azúcar después de la extracción del líquido.

**HOJARASCA:** las hojas caídas, pequeñas ramitas, semillas y otros desechos leñosos que se acumulan en el suelo y son una parte natural del bosque.

**CARPÓFORO:** sombrero carnosos que se forma al desarrollarse la seta.

**CEPA:** es una variante genotípica de una especie o, incluso, de un taxón inferior, usualmente propagada clonalmente, debido al interés en la conservación de sus cualidades definitorias.

**EFICIENCIA BIOLÓGICA:** este término corresponde al porcentaje de sustrato seco sobre el que se puede transformar en hongos útiles para el consumo.

**FRUCTIFICACIÓN:** fase del cultivo en la que los carpóforos aparecen y se obtiene los hongos ya para consumo.

**HUMEDAD RELATIVA:** muestra la relación entre la humedad absoluta del aire y la cantidad de humedad en condiciones de saturación.

**LIGNINA:** molécula orgánica compleja hallada como componente importante de las paredes celulares secundarias; imparte rigidez y fortaleza a las microfibrillas de celulosa.

**MATERIA SECA:** materia obtenida después de quitar la humedad.

**MICELIO:** cuerpo vegetativo de los hongos, generalmente formado por ramificaciones filamentosas llamadas hifas y constituye el aparato de nutrición de los mismos.

**ORELLANAS:** nombre común conocido internacionalmente para los hongos o setas comestibles de gran tamaño.

***Pleurotus ostreatus*:** hongo o seta tipo "Ostra", variedad comestible muy utilizada en la cocina internacional.

**SETA:** cuerpo fructífero de los basidiomicetes, típicamente posee forma de sombrilla, con un sombrero o píleo y un pie o estípite.

**SUSTRATO:** sustrato se le llama al material del cual el hongo se alimentara y sobre el cual se desarrollara.

**ESCLERÓFILA:** vegetación con hojas duras, coriáceas y generalmente gruesas que soportan muy bien la sequía.

## RESUMEN

Se estudió la caída de hojarasca de roble en un relicto de bosque ubicado en la vereda la Capilla del municipio de Cajibío, el tiempo de evaluación fue de seis meses. Se escogieron árboles maduros los cuales tenían un DAP entre 35 y 37 cm, los valores arrojados fueron de 7.41 kg de hojarasca por árbol, siendo este un valor menor al reportado en Piedras Blancas, Antioquia. Posteriormente se evaluó el crecimiento de *Pleurotus ostreatus* en hojarasca de roble y bagazo de caña, utilizando cinco sustratos: F1 bagazo de caña 100%, F2 roble 100%, F3 roble 75% y 25% de bagazo de caña, F4 roble 50% y 50% bagazo de caña y F5 roble 25% y 75% bagazo de caña. Las eficiencias biológicas fueron para F1 221.1%, F2 44.35%, F3 52.78%, F4 90.30% Y F5 109.12%. La mayoría de los carpóforos presentaron tamaños de 5 a 12 cm. de diámetro y las condiciones ambientales fueron apropiadas para el cultivo, sin embargo se presentaron porcentajes de contaminación causadas por hongos competidores en especial del *Trichoderma sp*, el cual aparece cuando las condiciones de higiene del cultivo no son las óptimas. Con relación al sustrato agotado, después de realizado un análisis proximal mostró cambios en su composición, principalmente en el aumento de los minerales, proteínas y la disminución de fibra, esto se presentó tanto para el bagazo de caña como para la hojarasca de roble.

**Palabras clave:** caída de hojarasca de roble, eficiencia biológica, tamaño de carpóforos, contaminación.

## SUMMARY

The fall of oak litterfall was studied in a forest relicto located in the village La capilla of the municipality of Cajibío, the time of evaluation was of six months. Mature trees those were chosen which had a DAP between 35 and 37 cm, the values were of 7.41 kg of litterfall/tree, being this a bellow value to the one reported in Piedras Blancas, Antioquia. Later on the cultivation of *Pleurotus ostreatus* was evaluated in oak litterfall and cane bagasse, using five substratums: F1 cane bagasse 100%, F2 oak 100%, F3 oak 75% and 25% cane bagasse, F4 oak 50% and 50% cane bagasse and F5 oak 25% and 75% cane bagasse. The biological efficiencies were for F1 221.1%, F2 44.35%, F3 52.78%, F4 90.30% and F5 109.12%. Most of the carpóforos presented size from 5 to 12 cm. of diameter and the environmental conditions were appropriate for the cultivation, however presented percentages of contamination caused especially by mushrooms competitors of *Trichoderma* sp, which appears when the conditions of hygiene of the cultivation are not the optimum. Including out substratums, the proximal analysis showed changes in their composition, mainly in the increase of the minerals, proteins and the fiber decrease, this showed in cane bagasse and the oak litterfall.

Words key: fall of oak litterfall, biological efficiency, carpóforos size, contamination.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el desarrollo de las actividades productivas de los cultivos agrícolas y forestales y los procesos industriales relacionadas con estos, generan grandes cantidades de residuos que son subvalorados y son considerados como de muy bajo valor económico. La perspectiva actual de estos residuos esta progresando ya que a nivel mundial se ha empezado a utilizar en la producción de energía y otros productos. Uno de los residuos forestales es la hojarasca la cual hace parte de la composición del suelo del bosque y de un ciclo natural de regeneración del follaje.

Las características de la hojarasca radica en su alto contenido en lignocelulosa, minerales y carbohidratos, con su descomposición propicia la colonización de bacterias y de hongos en los cuales radica esta investigación (Johnson y Catley, 2005).

El roble (*Quercus humboldtii*) tiene una amplia distribución geográfica en Colombia, Se encuentra desde los 1.500 m.s.n.m hasta los 3.000 m.s.n.m, esta árbol durante muchos casos ha sido una especie maderable de fácil comercio, lo cual ha incidido en que su aprovechamiento sea inadecuado en la mayoría de los casos, generando así un conflicto debido a la paulatina desaparición de los mismos. Por ello se hace necesario conocer los diferentes aspectos, para implementar un modelo sostenible de aprovechamiento que beneficie no solo al bosque, sino a la comunidad (Dantart y Fernández, 2007).

El bagazo de caña panelera (*Saccharum officinarum*) también es un residuo agrícola producido ampliamente en Colombia y en el departamento del Cauca, este residuo no es utilizado adecuadamente produciendo malos olores y atrayendo insectos y plagas (Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Fomento Económico, (2004).

Los residuos mencionados tanto el forestal como el agrícola poseen una característica muy particular como es su alto contenido de celulosa y hemicelulosa apto para el cultivo de hongos comestibles como el *Pleurotus ostreatus*, el cual es un hongo que se alimenta de materia vegetal cáscaras, semillas, madera entre otros. (Rodríguez, *et al.* 2005).

Es por esto que nace el interés de producir hongos comestibles a partir de residuos forestales, brindando soluciones que pueden ser sostenibles, con impactos positivos los cuales representan una alternativa económica, social y ambiental, mediante la cuantificación de la hojarasca de roble durante seis meses, la evaluación de la producción de *Pleurotus ostreatus* sobre cinco diferentes fórmulas a base de bagazo de caña y hojarasca de roble y análisis de cada sustrato inicial y final mediante análisis proximal.



## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HONGOS COMESTIBLES DEL GÉNERO *Pleurotus*

Los hongos del género *Pleurotus* son los más fáciles y menos costosos de producir, debido a la alta adaptabilidad, agresividad y productividad que presentan las setas de este género, además tienen la habilidad de descomponer troncos y crecen en un amplio número de residuos. Crecen bien en la mayoría de maderas duras, sobre los productos secundarios de la industria maderera, en la paja de todos los cereales, la caña de azúcar y bagazos, residuos de café, hojas de plátano y cáscaras de semillas oleaginosas (Rodríguez y Jaramillo, 2003).

Los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de los hongos comestibles son fundamentalmente carbohidratos, compuestos nitrogenados y minerales. Entre los carbohidratos encontramos la celulosa y la hemicelulosa, los nitrogenados que son los agregados mediante la adición de compuestos que poseen nitrógeno como los sulfatos de amonio, urea o gallinaza. En general estos compuestos no son asimilados directamente por el micelio sino que se biotransforman en proteínas y más tarde en aminoácidos (Sardsud, 1981).

### 1.2 BIOLOGÍA GENERAL DE LA ESPECIE *Pleurotus ostreatus*

*Pleurotus sp* es un saprófito facultativo que crece sobre madera viva y muerta y tiene varios nombres vulgares: “*Pleurotu ostreado*, Pleuroto de concha, orellana, oreja blanca, seta ostión” (Bessey, 1964; Mendoza y Díaz, 1984 citados por arenas, 1992). Se le conoce con otros nombres: Ostra de la madera, Ostra de árbol, Hongo comestible de la paja, Hiratake, Tamojitake (Japón) (staments, 1993). La clasificación taxonómica se presenta en el Cuadro 1.

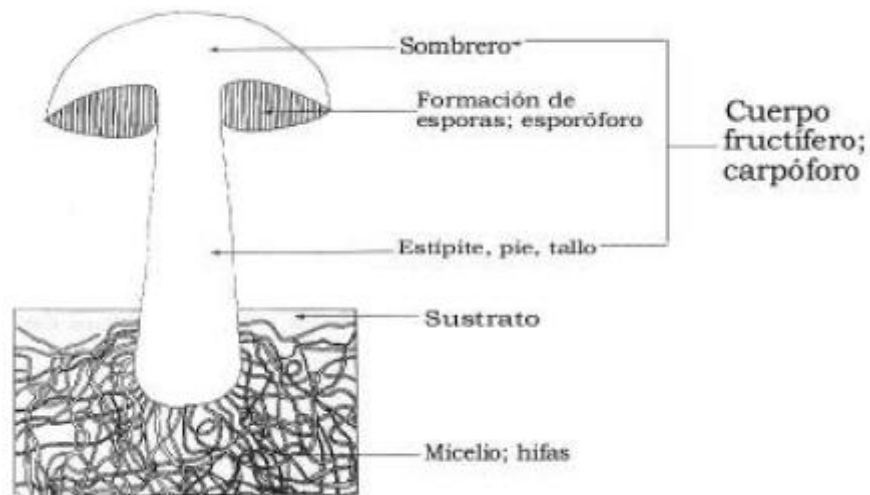
Cuadro 1. Clasificación taxonómica

<b>Reino</b>	Fungi
<b>Subreino</b>	Fungi superior
<b>Superdivisión</b>	Basidiomycotera
<b>División</b>	Basidiomycota
<b>Superclase</b>	Homobasidiomycia
<b>Clase</b>	Himenomycetes
<b>Orden</b>	Agaricales
<b>Familia</b>	Pleurotaceae
<b>Género</b>	<i>Pleurotus</i>
<b>Especie</b>	<i>Ostreatus</i>

Fuente: Staments, 1993.

**1.2.1 Descripción.** La especie *Pleurotus ostreatus* es un hongo comestible gastronómicamente de primera calidad, su color es blanco o castaño, aunque hay variedades azuladas y rosadas, su carne es compacta en el sombrero y fibrosa y blanca en el pie, sabor y olor agradable. El sombrerillo de esta seta es redondeado, con la superficie lisa, abombada y convexa cuando es joven, aplanándose poco a poco. El borde esta algo enrollado al principio. Su diámetro oscila entre 5 y 15 cm, dependiendo de la edad del hongo. En la parte inferior del sombrero hay unas laminillas dispuestas radialmente como las varillas de un paraguas, que van desde el pie o tallo que lo sostiene, hasta el borde. Son anchas y espaciadas unas de otras, blancas o crema a veces bifurcada y en ellas se producen las esporas destinadas a la reproducción de la especie. Estas esporas son pequeñas, oblongas, casi cilíndricas, que en gran número forman masas de polvo o esporadas, de color blanco con cierto tono grisáceo. El pie suele ser corto, algo lateral u oblicuo, ligeramente duro y blanco, con el principio de las laminillas en la parte de arriba y algo peloso en la base, pueden crecer de forma aislada sobre una superficie horizontal o en grupo formando repisas laterales superpuestas sobre un costado de los árboles. La carne de esta seta es blanca, de olor algo fuerte, intensa al principio y después correosa (Guarín y Ramírez, 2004). La figura 1 muestra el hongo y sus partes principales (Kalaé y Svoboda, 2000)

Figura 1. Hongo seta con sus partes principales



Fuente: Kalaé y Svoboda, 2000.

**1.2.2 Composición química.** El contenido proteico y elevado valor nutritivo de las setas es solo comparable con el de las leguminosas (Steineck, 1987). Los principales factores que causan variaciones en la composición son: el contenido de humedad, la temperatura y el movimiento del aire en el duelo en el momento del crecimiento. En el Cuadro 2 se aprecian los componentes químicos del hongo *Pleurotus ostreatus* (Guarín y Ramírez, 2004).

Cuadro 2. Composición Química del hongo comestible *P. ostreatus*

<b>Agua</b>	92.20%
<b>Materia seca</b>	7.80%
<b>Cenizas</b>	9.50%
<b>Grasas</b>	1.00%
<b>Proteína bruta</b>	39.00%
<b>Fibra</b>	7.50%
<b>Fibra cruda</b>	1.40%
<b>Nitrógeno total</b>	2.40%
<b>Calcio</b>	33 mg/100 g
<b>Fósforo</b>	1.348 mg / 100 g
<b>Potasio</b>	3793 mg /100 g
<b>Hierro</b>	15.20 mg / 100 g
<b>Acido ascórbico (Vitamina C)</b>	90-144 mg / 100 g
<b>Tiamina (Vitamina B1)</b>	1.16-4.80 mg / 100 g
<b>Niacina (Vitamina B5)</b>	46-108.7 mg / 100 g
<b>Acido Fólico</b>	65 mg / 100 g

**Fuente:** Atkinson, 1901; Steineck, 1987; Manu-tawiah, 1987 citado por Arenas 1992

**1.2.3 Crecimiento.** Los hongos comestibles del género *Pleurotus*, también llamados setas, son organismos que utilizan selectivamente la lignina para su crecimiento, debido a que este compuesto químico actúa como una barrera para la degradación biológica de los residuos lignocelulósicos, estos se acumulan en grandes cantidades. Los hongos del género *Pleurotus* para su crecimiento dependen de varias condiciones ambientales (ver Cuadro 3) (Guarín y Ramírez, 2004).

Cuadro 3. Parámetros medioambientales para la fructificación del hongo Pleurotus

Especies	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Luz (Lux)
<i>P. citrinopileatus</i>	21-29	90-95	<1.000	500-1.000
<i>P. cystidiosus</i>	21-27	85-90	<2.000	500-1.000
<i>P. djamor</i>	20-30	85-90	500-1.500	750-1.500
<i>P. eringii</i>	15-21	85-90	<2.000	500-1.000
<i>P. euosmu</i>	21-27	90-95	<1.000	750-1.500
<i>P. ostreatus</i>	10-21	85-90	<1.000	1.000-1.500 (2.000)
<i>P. pulmonarius</i>	18-24	85-90	400-800	1.000-1.500 (2.000)
<i>P. tuberregium</i>	30-35	85-90	<2.000	

Fuente: Staments, 1993

**1.2.4 Plagas y enfermedades en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.** El cultivo de orellanas presenta algunos problemas relacionados con plagas y enfermedades. A continuación se describen los más importantes.

- **Plagas.** Se han observado colémbolos, dípteros y roedores. Los primeros atacan a los hongos formando galerías en su carne. A menudo se encuentran en gran cantidad entre las laminillas que hay bajo el sombrero de las setas silvestres, pero es raro encontrarla en las setas cultivadas.

Los colémbolos son insectos sin alas que viven en el sustrato y se nutren del tejido fúngico, al tiempo que escarban. También se encuentran con mucha frecuencia entre las láminas de los cuerpos fructíferos, haciendo perforaciones. Son favorecidos por el exceso de humedad en el sustrato y en el aire y son sensibles a las temperaturas altas (Sánchez y Royse, 2001).

Los dípteros moscas y mosquitos, por su parte son atraídos por el olor de los hongos y de su micelio, sobre todo si las aberturas del local no están protegidas y hay cerca restos de cultivo anterior. Entre los mosquitos que se encuentran frecuentes en los cultivos están los Sciáridos como *Lycoriella*, Cecidómidos como Heteropeza, entre las moscas están las Foridos como *Megacelia* (García, 1987).

- **Enfermedades.** Las enfermedades pueden ser causadas por hongos inferiores patógenos o competidores, bacterias y virus. El tratamiento es muy difícil y casi siempre inútil, por eso se deben tener en cuenta medidas preventivas en el desarrollo del cultivo.

Una enfermedad frecuente es la llamada telaraña, es causada por el hongo *Dactylium dendroides* cuyos finos filamentos crecen rápidamente y se extienden sobre la superficie del sustrato y las setas con un moho blanquecino (García, 1987).

El moho de fuego (*Neurospora crassa*) es un hongo con un micelio blanco al principio, que se vuelve rápidamente anaranjado. Se forman grandes mallas de micelio, que parecen fibras de algodón y cuelgan como telarañas. Produce un gran número de esporas, de forma que una vez se establece el moho es difícil de eliminar. No se conocen medidas específicas de control (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

A veces aparecen mohos verdes en el sustrato y en la base del pie de las setas, el cual corresponde al hongo *Trichoderma sp.*, el moho verde es un vigoroso colonizador de la materia orgánica, especialmente si tiene un alto contenido de carbohidratos, se controla preferiblemente colocando atención a la higiene del cultivo. Este moho produce acidificación en el sustrato dificultando el crecimiento del micelio y disminuyendo la producción (García, 1987).

El *Penicillium spp.*, es otro género de hongos verdes, que compite por los nutrientes del sustrato al igual que el *Aspergillus spp.*, que son hongos que pueden tener coloraciones negras, blancas, verdes, amarillas y ocreas. Su presencia en los cultivos se ve favorecida por adecuaciones insuficientes del sustrato y por la falta de medidas higiénicas en las áreas de siembra e incubación (Sánchez y Royse, 2001).

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL SUSTRATO

**1.3.1 Bagazo de caña.** El bagazo es la fibra resultante de la extracción del jugo de la caña molida, se cataloga como un residuo vegetal; el bagazo que sale de los molinos tiene aproximadamente 50% de humedad, 2 - 3% de sacarosa y 47% de fibra, constituida fundamentalmente por elementos fibrosos, cuya proporción depende de las condiciones de cultivo de la caña, y de la variedad de la misma (Rodríguez, 1997). A continuación se presentan el análisis bromatológico de la caña en base seca (ve Cuadro 4) y la composición en base seca (ver Cuadro 5).

Cuadro 4. Análisis bromatológico del bagazo de caña (análisis en peso seco)

Hu %	N %	Prot. %	Ceniza %	Fibra %	Grasa %	ELN %	P %	K %	Ca %	Mg %	Fe ppm	pH
8.85	0.29	1.81	12.65	47.0	0.64	81.16	0.04	0.08	0.10	0.09	500	4.95

Fuente: Rodríguez, N. 2001.

Cuadro 5. Composición del bagazo (% de base seca)

Porción	Celulosa	Hemicelulosa			
		Alfa-celulosa	(Pentosas, arabano, galactano, xilano, etc.)	Lignina	Ceniza
Entera	58.4	36.8	29.4	21.3	2.9
Fibra	61.4	38.7	30.0	20.7	2.0
Medula	54.6	32.2	29.9	21.3	4.6

Fuente: Chen J, 2000.

### 1.3.2 Hojarasca de Roble (*Quercus humboldtii*)

• **Generalidades del roble.** El Roble tiene una distribución geográfica amplia desde el sur de Tejas en los Estados Unidos hasta Esmeraldas en el Ecuador. En Colombia el roble (*Quercus humboldtii*) se encuentra ubicado en Nariño, Boyacá, Huila, Santanderes, Antioquia, Caldas, Cauca, Caquetá, Cundinamarca, Risaralda, Tolima. Crece formando asociaciones bastante homogéneas, conocidas como robledales en varias zonas del país y se distribuye desde los 1.500 m hasta altitudes de 3.000 m. s. n. m (ver Cuadro 6) (Dantart y Fernández, 1998)

Cuadro 6. Clasificación taxonómica

<b>Nombre común</b>	Roble
<b>Nombre científico</b>	<i>Quercus humboldtii bonpland</i>
<b>Sinónimos</b>	<i>Erytrobanelus humboldtii schuarz.</i>
<b>Nombres comunes</b>	Roble, roble amarillo (Boyacá), roble negro (Cundinamarca), roble blanco (valle del cauca), y lukará (parte n.e. De Colombia, comunidad tunebos) (huertas 1976).
<b>Orden</b>	Fagales.
<b>Familia</b>	Fagaceae.

Fuente: Dantart y Fernández, 1998

• **Descripción botánica.** “ Los árboles son de gran porte, hasta de una altura de 40 m de fuste recto y cilíndrico de longitud entre 8 y 10 m, a veces ramificaciones profusas desde la base, con diámetro a la altura del pecho entre 35 y 65 cm. corteza inicialmente lisa y luego exfoliable, de color negruzco. La copa es globosa y densa con presencia de yemas vegetativas de posición lateral, protegidas por catáfilos o escamas ciliadas. Las hojas son simples, alternas, enteras, lanceoladas, coriáceas y delgadas, ápice agudo, base cuneada 10 a 20 cm. de largo. El haz glabro y un poco lustroso y la base de la nervadura central poco

tomentosa. Se ha observado en el follaje manchas o necrosamientos en casi todos los sitios en donde se encuentra. Las flores son unisexuales, las masculinas en amento y las femeninas en una cúpula. Inflorescencias masculinas amentoides, estambres numerosos, cada estambre con dos sacos polínicos; flores femeninas con el cáliz cuculiforme, que una vez formado el fruto lo recubre en forma parcial. Los frutos tienen forma de cápsula redondeada (bellota), leñosa blanquecina de 2 a 4 cm. de largo y 2 a 2.5 cm. de ancho (Torres, 1983), redondeado u ovado, incluido dentro de una cúpula escamosa” (Dantar y Fernández, 1998).

- **Características de la hojarasca de roble.** En la región nor. Oriental de Colombia se encuentran bosques homogéneos dominados por *Q. humboldtii*, en estos bosques la mayor parte de los nutrientes entran por la caída de la hojarasca producida por los árboles maduros. Este hecho hace que la dinámica de este ecosistema se ligara a la presencia de esta especie como se ha descrito para otros bosques (Finzi y otros, 1998).

- **Cuantificación de la hojarasca de roble.** En general los árboles maduros de *Q. humboldtii* tienden a presentar una gran superficie de copa y gran altura, en el que una importante cantidad de hojas verdes se ha desarrollado, presentando una gran biomasa en comparación con otras especies de dosel. En bosques nublados, la cantidad de hojarasca esta entre 9,9 kg (Walter & Ataroff, 2000) y 15.38 kg (Hofstede *et al.*, 1993) por árbol. La altura de la parte superior y la gran cantidad de biomasa de hojas verdes pueden estar relacionadas con la tolerancia a la sombra, la cual requiere de un esfuerzo asignado a la producción de estructuras permanentes que favorece una vida larga comparada con otras especies arbóreas de los bosques nublados. Se ha registrado que las especies arbóreas tolerantes a la sombra tienden a presentar copas de mayor profundidad y con mayor índice de área foliar que las especies intolerantes (Canhan et al. 1994).

La producción de la hojarasca de los árboles maduros de roble es elevada y permanente alcanzando un valor de 15.4 ton-ha-año<sup>-1</sup>, para la región nor. oriental de Colombia se ha estimado una caída de hojarasca de hoja verde por árbol en un período de un año (Higuera y Martínez, 2006. Ver Cuadro 7, estos altos valores se relacionan con la ubicación de las trampas de la materia orgánica, ya que estas se encontraban a diferentes alturas en los árboles, por lo que las trampas ubicadas a un metro del suelo no interceptan la hojarasca eficientemente ya que esta queda atrapada por las epífitas y otra parte por la vegetación intermedia y sotobosque (Veneklaas, 1991). También la producción de hojarasca y disponibilidad, está determinado por las fluctuaciones estacionales, que están reguladas por los procesos biológicos y factores climatológicos. Sin embargo, factores tales como la topografía, condiciones edáficas, especies, edad y densidad de los bosques son importantes también (Hernández *et al.*, 1992).

Cuadro 7. Cantidad de hoja verde por árbol

Árbol	Altura (m)	Hojas verdes (Kg)
Árbol 1	26	24.84
Árbol 2	25	21.17

Fuente: Higuera y Martínez, 2006

• **Características Químicas.** Las concentraciones de N, P, K, S y Ca son menores en la hojarasca que en las hojas verdes, y las concentraciones Mg no varía. La hojarasca de roble presenta altas concentraciones de N 18.2 mg y bajas concentraciones de P y K, sin embargo, estos dos últimos nutrientes presentan una alta retranslocación, lo que sugiere que estos dos elementos son limitantes en este ecosistema (Higuera y Martínez, 2006).

Las concentraciones de N, P, K, S y Ca son más bajas en hojarasca que en hojas verdes, aunque en éstos las diferencias son estadísticamente significativas para el contenido de potasio y calcio. Las concentraciones del magnesio son similares en hojas frescas y hojas secas (ver Cuadro 8) (Higuera y Martínez, 2006).

Cuadro 8. Contenido de nutrientes en hojas verdes y hojas secas del Roble

	n	N (mg)		P (mg)		K (mg)		Ca (mg)		Mg (mg)		S (mg)	
		X	SD	X	SD	X	SD	X	SD	X	SD	X	SD
<b>Hojas verdes</b>	6	18.5	2.85	0.65	0.35	4.47	2.12	2.28	0.54	0.48	0.19	1.16	0.79
<b>Hojas secas</b>	6	15.53	2.58	0.30	0.08	2.33	0.64	1.63	0.48	0.50	0.14	0.55	0.14

Fuente: Higuera y Martínez, 2006

n: muestras analizadas

X: Valor medio

SD: Desviación Estándar

#### 1.4 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus*

Este procedimiento consta de siete etapas claves en el desarrollo del cultivo de este hongo.

**1.4.1 Recolección del material.** Para seleccionar el sustrato, es indispensable conocer la disponibilidad y abundancia del mismo en la región en donde se piensa cultivar el hongo seta. Es importante tomar en cuenta, buen precio de adquisición y que sea fácil de transportar (Gaitán y Salmones, 2004).

**1.4.2 Adquisición del hongo.** La preparación de inóculo o semilla constituye la base para el cultivo comercial de las setas, y se refiere a la propagación o desarrollo masivo del hongo en granos de gramíneas, principalmente sorgo o trigo.



**1.4.3 Adecuación del sustrato.** La operación más importante a que ha de someterse el sustrato es un tratamiento que destruya insectos, hongos, parásitos, etc., que pueda contener y que luego puedan aparecer en el cultivo. A continuación se presentan los principales métodos de desinfección:

a) Pasteurización con vapor: consiste en colocar el sustrato en una área cerrada, ésta puede ser un pequeño cuarto de concreto o un recipiente metálico, se le aplica vapor generado por una caldera eléctrica, de diesel o gasolina, por medio de tubos de cobre o mangueras resistentes hasta que la temperatura alcance entre 70-80°C y que el sustrato se mantenga de 2 a 4 horas en esa misma condición (Gaitán y Salmones, 2004).

b) Pasteurización por inmersión en agua caliente: el sustrato se sumerge en agua caliente (75-80°C) durante 1 hr. Una vez llevada a cabo una buena pasteurización del sustrato, éste estará listo para ser sembrado con la semilla o inóculo previamente preparado (Gaitán y Salmones, 2004).

c) Esterilización térmica: este tratamiento consiste en introducir el sustrato en un autoclave, con vapor a 121 °C durante una hora o dos según el tamaño del contenedor. Concluida esta operación, y una vez que el material se haya enfriado se procederá a la siembra en condiciones muy asépticas, ya que en ese momento el sustrato es muy susceptible a contaminarse (Sánchez y Royse, 2001).

d) Fermentación aerobia: este procedimiento supone la realización de dos etapas consecutivas, la pasteurización convencional y una fermentación termófila de acondicionamiento. Debido a ello, esta técnica se aplica con diferentes variaciones: Ferri (1985) propone varios ciclos: a) subida de la temperatura de la masa, en 6-12 horas, hasta 60-65°C y mantenerla 24 horas, para continuar después con un rango de 50-55°C (48-72 h), y finalmente enfriar a lo largo de 6 horas; b) subida de la temperatura del sustrato hasta cerca de 70°C (2 h) y luego un mantenimiento de 55°C (72 horas), para terminar con un enfriamiento de una duración en torno a las 12 horas; y c) subida a 68-70°C y mantenimiento de este nivel térmico durante 12 horas, seguido de una reducción a 50-55°C (24 horas), y finalización del proceso con un enfriamiento hasta 25°C. (Olivier *et al.* 1991) hablan de una pasteurización *larga* en la que el tratamiento de desinfección es de 60°C durante algunas horas, seguido de un mantenimiento posterior de 50°C durante varios días (Sánchez y Royse, 2001).

e) Esterilización química: es un procedimiento de protección del sustrato para *Pleurotus* spp. llevado a cabo a nivel experimental por Vijay y Sohi (1987), en la India. Se basa en la aplicación de algunos productos químicos de poder fungicida durante su preparación. La iniciativa pretendía estudiar el añadido de tales productos a la paja de trigo y ver su grado de eficacia en cuanto a la incidencia de

los diferentes hongos parásitos y competidores más habituales, así como su efecto en el rendimiento de *P. pulmonarius*. Los productos fungicidas ensayados fueron Bavistin (50% de carbendazima) y Formalina (35% de formaldehído), los cuales se aplicaron individualmente, a diferentes concentraciones, o combinados, también a diferentes concentraciones (Sánchez y Royse, 2001).

f) Fermentación en frío: consiste en sumergir durante una noche el sustrato en una solución de cal (aconsejan unos 1.900 g de cal en 200 litros de agua); luego se escurre y se siembra (García, 1987).

**1.4.4 Inoculación.** En este proceso se adiciona la semilla del hongo *Pleurotus ostreatus* al sustrato que debe estar previamente acondicionado (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

**1.4.5 Incubación.** En este proceso el hongo se reproduce en el sustrato por medio de condiciones óptimas para su desarrollo. La incubación del material debe realizarse en un cuarto limpio, previamente desinfectado con una solución de formol comercial al 0.3%. La temperatura óptima de incubación para *P.ostreatus* es de 25 ° C. (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

**1.4.6 Fructificación.** La etapa de fructificación puede llevarse a cabo en el mismo cuarto donde se realizó la incubación, siempre y cuando se disponga en este de los elementos necesarios para suministrar las condiciones de ventilación, temperatura, humedad y luz que requieren los primordios para su desarrollo (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

**1.4.7 Cosecha.** Los hongos deben cosecharse cuando la parte superior del hongo este casi plano, momento en el cual el hongo ha alcanzado su máximo crecimiento. La cosecha puede realizarse con la mano, sujetando el pie del hongo y haciendo un esfuerzo de torsión para desprenderlo del sustrato o cortando el estípite con un cuchillo en la base del tallo en el punto de unión con el sustrato (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

## 2. ANTECEDENTES

Hurtado y Paz, (1995), evaluaron la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* a partir de esquilmos y desechos agrícolas industriales (aserrín, pulpa de café, hoja de caña y pasto King Grass). Concluyeron, que el hongo se puede producir a gran escala sobre pasto King grass y hoja de caña por sus bajos costos. Respecto a la producción sobre pulpa de café se presentaron inconvenientes por contaminación de otros microorganismos, generando la necesidad de mejorar los métodos de esterilización del sustrato en futuros trabajos.

Rodríguez y Gómez, (2001), establecieron un protocolo sencillo para el cultivo del hongo *Pleurotus* sp. Sobre pulpa de café, con el fin de ser aplicado por los pequeños caficultores.

Urbano, Ortiz, Astaiza, Paz, (2002), evaluaron el desarrollo del hongo *Pleurotus ostreatus* bajo sustratos como: cascarilla de café, pasto de corte, vainas de arveja, vaina de frijol y espárragos, con el fin de establecer el mejor sustrato y mejor tratamiento de desinfección para la producción de estos hongos. Los resultados mostraron que el agua hirviendo es el método mas efectivo para la desinfección de sustratos, además que el mejor sustrato para su producción fue la vaina de frijol, en contraste con la cascarilla de café que presento los mas bajos rendimientos por su menor porcentaje de proteína.

Bonilla y Paz, (2005) realizaron dos experimentos: en el primero evaluaron la producción del hongo *Pleurotus sajar* caja en cascarilla de café y vainas de frijol, y en el segundo evaluaron el efecto del sustrato agotado como enmienda al suelo en el cultivo de maíz y frijol. Se empleo un diseño completamente al azar 3 x 12, donde los tratamientos fueron: T1 (sustrato 100% cascarilla de café), T2 (50% cascarilla; 50% vainas de frijol), y T3 (75% de cascarilla; 25% vainas de frijol). El primer experimento evaluó la producción de hongos en dos cosechas, en la primera, T2 permitió aumentar la producción en un 11% sobre T1; aunque el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre estos tratamientos. En el segundo experimento solo se evaluó el sustrato que contenía el 100% de cascarilla como enmienda del suelo, y se determino que el sustrato al ser aplicado rebajaba las concentraciones de otros elementos como Ca, Mg, K, P, entre otros.

Rodríguez y Jaramillo, (2005), evaluaron la producción de hongos del genero *Pleurotus* sp. Sobre residuos agrícolas en la zona cafetera tales como pulpa de café, aserrín de tallo de café, borra de café, granos deteriorados de café, cisco de café, bagazo de caña, película plateada de café, cascarilla de arroz y hoja de plátano; obteniendo que el sustrato de mayor rendimiento fue la mezcla de pulpa de café con bagazo de caña, seguido por la mezcla de borra de café con tamo de arroz y cascarilla de arroz, pero la formulación mas recomendada para la zona fue

la mezcla de aserrín de tallo y pulpa de café, por la alta disponibilidad, obteniendo resultados medios de eficiencia biológica de 88.9%.

Sarasti y Muelas, (2008) evaluaron la producción de *Pleurotus ostreatus* sobre cuatro sustratos a base de pulpa e café, tratados con tres diferentes métodos de esterilización en el municipio de Piendamó: los cuatro sustratos ( S1: 100% pulpa de café, S2: 50% pulpa de café + 50% bagazo de caña, S3: 50% pulpa de café + 50% pasto de corte King Grass), cada uno con tres repeticiones y los cuatro métodos de esterilización (N: no esterilización, Q: esterilización química, V: esterilización con vapor de agua y E: esterilización con agua en ebullición). Los resultados obtenidos indicaron que el mejor método de esterilización fue el tratamiento agua en ebullición, en la segunda etapa la de producción el análisis de varianza mostró que existieron diferencias significativas entre los tratamientos y la prueba de Duncan, reporto que T1 (79.3%) fue el mejor sustrato.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología seguida obedece a las referencias investigadas acerca del cultivo del hongo y la recolección del sustrato.

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron diferentes infraestructuras, ubicadas en diferentes lugares, con condiciones ambientales distintas.

**Relicto de bosque de roble.** En este relicto se realizó la cuantificación, recolección y la pasteurización de los sustratos utilizados en la producción de setas (ver Figura 2). Se encuentra ubicado en la vereda La Capilla, Municipio de Cajibío, Departamento del Cauca, a una altura de 1.765 m.s.n.m. con una precipitación de 2000 mm anuales, una temperatura promedio de 19°C y clima templado (POT Cajibío, 2002).

Figura 2. Árboles seleccionados de *Quercus humboldtii*, Vereda la Capilla, Municipio de Cajibío



Fuente: el autor

**Invernadero.** Se construyó en la ciudad de Popayán (ver Figura 3), a una altura de 1.738 m.s.n.m, temperatura media de 19°C y una humedad relativa de 77% según cartas climatológicas - medias mensuales aeropuerto Guillermo león valencia.

Figura 3. Invernadero de incubación y fructificación ubicado en la ciudad de Popayán



Fuente: el autor

**Laboratorio.** Se utilizó el laboratorio de biotecnología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, en este se realizaron pruebas microbiológicas a la hojarasca de roble, y pruebas de secado de los sustratos las cuales eran necesarias para el desarrollo óptimo del proyecto.

### 3.2 CUANTIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DE MATERIAL

Para llevar a cabo la evaluación de la producción de hojarasca de roble se utilizaron 12 trampas de 50 cm. de diámetro y 50 cm. de profundidad siendo para la recolección de hojarasca un número aceptable de trampas (Stocker *et al.*, 1995).

Estas trampas se colocaron a un metro del suelo en dos árboles de altura de 22 y 25 m medidos con el hipsómetro de Merrit y diámetro a la altura del pecho (DAP) de 35 y 37 cm medido con una cinta diamétrica, los cuales son parámetros indicadores de árboles de gran porte encontrados en la zona (Nieto y Rodríguez, 2006)., los cuales fueron previamente seleccionados que según Higuera y Martínez, (2006) son muestras representativas para un área de 2500 m<sup>2</sup>, la cuantificación de la hojarasca se hizo cada quince días durante 6 meses, en los meses de Septiembre a Febrero (ver Figura 4).

Figura 4. Trampas de hojarasca de roble, ubicadas en la Vereda La Capilla, Municipio de Cajibío



Fuente: el autor

El material u hojarasca de roble se obtuvo igualmente del mismo sitio en donde se realizó la cuantificación, esta se acumuló con un rastrillo para poderla recoger de la superficie del suelo, para someterla después a un proceso de acondicionamiento. El bagazo de caña se obtuvo de el trapiche “El lago” muy cerca al bosque de roble, este se recogió y se depositó en bolsas de yute para después ser desinfectadas (ver Figura 5).

Figura 5. Hojarasca de roble y bagazo de caña recolectados en la Vereda La Capilla, Municipio de Cajibío



Fuente: el autor

### 3.3 CULTIVO DEL HONGO

Una vez fueron recolectados los materiales utilizados para el sustrato, se prosiguió a realizar el cultivo, de acuerdo al diseño experimental que se describe a continuación.

**3.3.1 Diseño experimental.** Se utilizó un diseño completamente al azar con cinco fórmulas y tres réplicas (ver Cuadro 9), para un total de 15 unidades muestréales de 2 kilos cada una (ver Cuadro 9). Se realizó el análisis de varianza (ANAVA) y la prueba de Tukey con un  $\alpha=0.05$ , para determinar diferencias significativas entre las fórmulas, en la etapa de colonización y producción.

A cada sustrato evaluado se le llamo fórmula (F) entre las cuales se tienen F1: Bagazo de caña 100% o testigo, F2: Roble 100%, F3: Roble 75% Bagazo de caña 25%, F4: Roble 50% Bagazo 50%, F5: Roble 25% Bagazo 75% y X: Replica

Cuadro 9. Diseño experimental

<b>F1</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
<b>F2</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
<b>F3</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
<b>F4</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
<b>F5</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>

Fuente: el autor

**3.3.2 Procedimiento del cultivo.** Para este procedimiento se tomó en cuenta la información investigada sobre el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

**Adquisición del hongo.** La semilla del hongo fue solicitada a FUNGITECH empresa localizada en la ciudad de Bogotá la cual se dedica a la producción de semilla del hongo *Pleurotus ostreatus*, esta se obtuvo en granos de cebada.

**Adecuación del sustrato.** Una vez fue recolectada la hoja de roble, esta se sometió a un proceso de secado con radiación solar hasta obtener la hoja seca con humedad del 10% medida con balanza de humedad Precisa Xm10SE, esta operación se realizó para facilitar la operación de triturado y calculo de la humedad, posteriormente se le sometió a un remojo de 24 horas, ya que esta hoja tiene una superficie coriácea, lo que impide la absorción de humedad y la colonización del hongo (ver Figura 6). En el caso del bagazo de caña, no fue pretratado como en la hojarasca de roble.



Figura 6. Triturado de la hojarasca de roble



Fuente: el autor

En esta etapa se utilizó un solo tratamiento de desinfección para los sustratos escogidos (Bagazo de caña y hojarasca de roble) el cual fue la pasteurización por inmersión en agua hirviendo a temperatura de (90°C) durante 2 hr (ver Figura 7), ya que este es el método mas efectivo para la eliminación de microorganismos competidores que quizá, pueden afectar la colonización del micelio del hongo (Astaiza, Ortiz, Paz y Urbano, 2002). Una vez llevada a cabo una buena pasteurización del sustrato, éste estuvo listo para ser sembrado con la semilla o inóculo previamente preparado.

Figura 7. Pasteurización de los sustratos



Fuente: el autor

**Inoculación.** Una vez se enfrió el sustrato se procedió a inocular o sembrar con la semilla del hongo esta se retiró de la nevera 3 horas antes para descongelarla, el sitio de inoculación fue desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio a 250ppm, además se utilizaron mecheros de alcohol, así evitar una posible contaminación (ver Figura 8). La tasa de inoculación fue del 4%, también se le agrego 3% de carbonato de calcio o cal sobre el sustrato para evitar el desarrollo de microorganismos, una vez fueron pesados todos los materiales se prosiguió a

inocular y empacar en bolsas plásticas de polipropileno transparentes y posteriormente en bolsas plásticas negras para contribuir a su debido desarrollo.

Una vez fue empacado el sustrato se le realizó a las bolsas unas 40 perforaciones de un diámetro de 1 cm. aprox., para regular la humedad en el sustrato.

Figura 8. Implementos de inoculación



Fuente: el autor

**Incubación.** La incubación del material se realizó en el invernadero cubierto con plástico transparente con una polisombra para evitar la exposición directa de la radiación, previa desinfección con cal.

La temperatura de incubación fue de 18 a 20 °C para *P. ostreatus*, la cual fue obtenida con un termómetro ambiental, las bolsas se suspendieron con una pita plástica a un metro del techo y separadas unas de otras a 50 cm. El tiempo de incubación depende del sustrato utilizado (ver Figura 9).

Figura 9. Incubación en invernadero



Fuente: el autor

**Fructificación.** Para esta etapa se retiró la bolsa negra y la transparente, para dar lugar al crecimiento de los primordios, la temperatura de fructificación fue de 18 a 19 °C medida con un termómetro ambiental y 80 a 85% de humedad relativa la cual se tomó con un psicrómetro (ver Figura 10). Estas condiciones se consiguieron humedeciendo el cuarto mediante 2 a 4 aspersiones de agua por día para aumentar la humedad relativa del área, regando el piso y las paredes diariamente, con agua potable.

La luminosidad se reguló con una polisombra, hasta obtener un estado de semipenumbra, usando el mismo cuarto de incubación, los bloques debieron separarse más que en la etapa de incubación, para dar espacio al crecimiento de los carpóforos y facilitar su recolección.

Figura 10. Fructificación



Fuente: el autor

**Cosecha.** Los hongos se cosecharon cuando la parte superior del hongo estuvo casi plano, momento en el cual el hongo ha alcanzado su máximo crecimiento. La cosecha se realizó con una tijera cortando en la base del tallo en el punto de unión con el sustrato. El resumen del proceso se observa en la Figura 11.

Figura 11. Diagrama de flujo



Fuente: el autor.

**3.3.3 Variables de respuesta.** Para la evaluación del cultivo se utilizaron los siguientes parámetros o indicadores.

- Colonización: el grado de colonización, se tomó un patrón de medida 8 cuadrículas de 4x5 cm.) en el cual se midió el área colonizada en la superficie de la bolsa, este se representa en porcentaje de colonización (Astaiza, Ortiz, Paz y Urbano, 2002).
- Contaminación: se tomó la misma metodología que en la colonización, esta se representa como porcentaje de contaminación, además se comprobó la presencia de plagas en la etapa de la fructificación.

- Producción: se evaluó la producción en cada unidad experimental, tomando el peso de las setas obtenidas en cada sustrato, se evaluarán tres cosechas consecutivas con un tiempo de 10 días entre cada una, determinando la eficiencia biológica en cada una de las fórmulas para hallar el peso del sustrato en base seca se utilizó una balanza analizadora de humedad Precisa Xm10SE, la cual utiliza el método termogravimétrico, para hallar el porcentaje en base seca.

La eficiencia biológica, de acuerdo a la metodología propuesta por Salmones *et al.*, 1996, se expresa en la siguiente fórmula:

$$EB = \frac{\text{peso fresco de carpóforo} \times 100}{\text{peso seco de sustrato}}$$

- Calidad de las setas: se tuvo en cuenta la apariencia de los hongos en cuanto a color, forma, olor, tamaño y estado fitosanitario.
- Tiempo de evaluación: se evaluaron las unidades durante dos meses, período de la incubación del micelio y fructificación de la seta.
- Análisis proximal: análisis proximal del sustrato inicial y final de bagazo de caña y hojarasca de roble, en el cual se determinó contenido de proteína, grasa, fibra, carbohidratos, ceniza y extracto no nitrogenado este fue realizado en SERVIQUÍMICA Servicios Químicos Industriales del Cauca, ubicado en la ciudad de Popayán.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la interpretación y discusión de los resultados obtenidos tanto de la cuantificación de la hojarasca como del cultivo del hongo.

### 4.1 CUANTIFICACIÓN DE HOJARASCA

Durante esta primera etapa se recolectó toda la información de la hojarasca de roble (hoja verde) en peso (kg) de dos árboles similares en características. A continuación se muestran los pesos cada quince días desde el mes de septiembre de 2008 hasta el mes de febrero de 2009. La dinámica de la caída de hoja verde durante el período de estudio se presenta en la figura 2. El Cuadro 10 se muestra la dinámica de hojarasca durante el período de estudio.

Cuadro 10. Cantidad de hoja verde en los dos árboles (seis meses)

Fecha	Cantidad de Hoja Verde Kg
Septiembre	1.500
Octubre	3.290
Noviembre	2.800
Diciembre	2.715
Enero	2.467
Febrero	2.050
Total	14.822

Fuente: el autor.

La hojarasca de roble fue evaluada en términos de peso húmedo. La evaluación arrojó que el mes que produjo mayor cantidad de hojarasca fue octubre con un peso de 3.290 kg y el mes en donde se recolectó menor cantidad fue septiembre con 1.500 k en peso, para un total de hojarasca recolectada durante los seis meses de 14.822 kg, para un promedio por árbol de 7.411 kg (Ver Cuadro 10). Los resultados obtenidos demostraron que la caída de hojas es permanente durante el tiempo evaluado, la distribución de la hojarasca en el suelo fue uniforme durante todo el período, como lo reporta el estudio realizado por Higuera y Martínez, 2006. Los valores fueron comparados con los de un relicto de bosque montano andino piedras blancas, Antioquia en donde se reportó una cantidad de hoja verde de 7877.20 kg-ha<sup>-1</sup>-año<sup>-1</sup> con una densidad de 358 árboles por hectárea, para un promedio por árbol de 22 Kg en un año, 11 kg en seis meses, siendo estos valores ligeramente superiores a los del estudio realizado en el bosque submontano, debido posiblemente a las diferentes condiciones ambientales que pudieron desviar la caída de la hojarasca. Otro aspecto importante que puede explicar este comportamiento, es que las trampas se colocaron a una misma altura y según Veneklaas, (1991), los altos valores de hojarasca recolectada está relacionada con la ubicación de las trampas, ya que estas se deben encontrarse a diferentes alturas en los árboles para que haya una captación mejor, por lo que las trampas



ubicadas a un metro del suelo no interceptan la hojarasca eficientemente ya que esta queda atrapada por las epífitas y otra parte por la vegetación intermedia y sotobosque, sin embargo los datos obtenidos, se comparan con estudios que aplicaron la metodología realizada en la presente investigación. Otro aspecto a considerar, es que la zona donde se realizó dicho estudio presenta intervención antrópica y de animales como ganado vacuno, evidenciado por el pisoteo del suelo y extracción de leña por parte de los lugareños (ver Figura 10), lo que puede generar ambientes contrastantes (matriz antrópica y bosque), que interactúan entre sí a través de un límite o borde, los cuales son en general zonas transicionales donde el microclima, la vegetación y la fauna pueden verse afectados, produciéndose un efecto de borde (Gómez y Galeano, 2004). Lo anterior podría explicar las diferencias entre datos reportados en estudios anteriores.

Figura 12. Recolección de la hojarasca de roble en la Vereda La Capilla, Municipio de Cajibío



Fuente: el autor.

#### **4.2 CULTIVO DEL HONGO**

Siguiendo con la metodología mencionada se realizó cada una de las etapas importantes del cultivo del hongo, empezando con la etapa de incubación del micelio, en el transcurso de esta se evidenció la presencia de contaminación en algunas fórmulas (ver Cuadro 18), creando la necesidad de realizar una prueba microbiológica para poder determinar si la causa de dicha contaminación es el tratamiento de pasteurización.

**4.2.1 Contaminación.** A continuación se muestran los porcentajes de contaminación medida con la cuadrícula descrita en la metodología.

Cuadro 11. Porcentajes de contaminación en las fórmulas evaluadas en la producción de *P. ostreatus*

Día	Fórmula 1 (%)	Fórmula 2(%)	Fórmula 3(%)	Fórmula 4(%)	Fórmula 5(%)
8	0.0	5	3	2.3	1.8
16	0.0	21	5	3.1	2.2
20	0.0	35	10	5.3	3.9

Fuente: el autor.

En el cuadro 11 anterior se evidencia que en la F1 no hubo contaminación en la etapa de incubación, pero si en las demás fórmulas evaluadas, en el cuadro 12 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) entre las fórmulas contaminadas.

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas en las cinco fórmulas evaluadas (ver Anexo A). El mayor porcentaje de contaminación se encontró en la F2 con un porcentaje de 35%.

Los valores del cuadro 11 se obtuvieron del primer cultivo realizado, el cual se aisló una vez cumplido el tiempo de incubación para evitar la contaminación del sitio. Posteriormente se observó que la contaminación se detuvo cuando fue retirada la bolsa plástica, esto debido al cambio en las condiciones ambientales propicias en las que se desarrollo el microorganismo contaminador.

Otro aspecto importante en el desarrollo de enfermedades es que estas se ven favorecidas por la humedad excesiva y poca ventilación, esto sucede cuando las condiciones ambientales del invernadero no son las adecuadas, ya que la humedad relativa depende de la temperatura, un aislamiento térmico inadecuado permitiría que aumenten la temperatura del aire y el vapor de agua, beneficiando la germinación de ciertos microorganismos (García, 1998).

**4.2.2 Plagas y enfermedades.** Como se mencionó anteriormente en la etapa de incubación, se observó la presencia de hongos con aspecto polvoriento y de color verde y anaranjado que por sus características puede pertenecer a las especies *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Neurospora* y *Trichoderma* (ver Figura 13), este último ocasionando acidificación del medio provocando la disminución de la colonización por parte del micelio de *P. ostreatus* (García, 1998) sobre el sustrato.



Figura 13. Contaminación del sustrato de roble en la etapa de incubación



Fuente: el autor.

**4.2.3 Prueba microbiológica.** Inicialmente se realizó un proceso de pasteurización con vapor citado por García Rollan, (1998), a una temperatura de 60 °C, durante 9 horas. Con este tratamiento se presentó un porcentaje de contaminación superior al 50% en hoja de roble, lo cual contribuyó a la exterminación de la flora bacteriana protectora del sustrato, la cual compite con microorganismos, aumentando el ataque por *Trichoderma spp* y otros (Velásquez, 2006).

Teniendo en cuenta que el tratamiento realizado presentó problemas de contaminación se decidió realizar un ensayo a nivel de laboratorio para identificar el tratamiento adecuado. Se procedió a efectuar una siembra de hojarasca de roble pasteurizada a 90 °C a diferentes tiempos (0, 2, 4, 6, 8, 10 horas) en agar PDA por triplicado, incubando por dos días. Este procedimiento no se realizó con el bagazo de caña ya que en este sustrato no se evidenció contaminación. A continuación se muestran los resultados después de dos días de incubación de las muestras.

Cuadro 12. Prueba microbiológica

Horas de pasteurización	R1	R2	R3
0	C	C	C
2	NC	NC	NC
4	NC	NC	NC
6	NC	NC	NC
8	NC	NC	NC
10	NC	NC	NC

Fuente: el autor.

NC: No contaminación

C: Contaminación

Según la información del cuadro 12 el tiempo de pasteurización en el cual no se presenta contaminación es a partir de 2 horas de haber iniciado dicho tratamiento.

Figura 14. Contaminación en cultivo de hojarasca de roble no pasteurizado



Fuente: el autor.

El hongo competidor el cual se propagó en el agar coincidió con el hongo presente en el cultivo, este hongo se conoce como moho verde *Trichoderma sp.*, el cual es un vigoroso colonizador de la materia orgánica, especialmente si tiene un alto grado de carbohidratos (ver Figura 14). Por este motivo puede estar presente en la semilla y en los pies donde se han cortado los hongos, este moho se controla, preferiblemente colocando atención a la higiene del cultivo (Fletcher, 1986). Este moho acidifica el sustrato, dificultando el crecimiento del micelio, disminuyendo la producción, aparece generalmente a temperaturas entre 22-27°C y se ve favorecido por la humedad alta y pH bajo (García, 1998). Este invade rápidamente el sustrato y obstaculiza el crecimiento del micelio de *Pleurotus spp.* mediante la producción de toxinas y antibióticos, al tiempo que ocasiona un descenso del nivel de pH hasta valores de 4.0-5.0, que son más favorables para su desarrollo. Inicialmente se puede observar en el sustrato un moho de color blanco que vira a verde, adquiriendo posteriormente color gris verde-azulado debido a la abundante producción de conidios (Sánchez y Royse, 2001).

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se reinició el cultivo con mejores condiciones higiénicas, tanto en la etapa de adecuación como en el cuarto de incubación el cual estaba muy expuesto a la radiación solar, colocándole una polisombra la cual disminuyó la temperatura y humedad relativa para un cultivo sano.

**4.2.3 Colonización.** A continuación en el cuadro 13 se presentan los resultados de colonización del micelio del hongo en porcentaje, obtenidos en las diferentes fórmulas.

Cuadro 13. Porcentajes de Colonización vs Tiempo para diferentes fórmulas evaluadas

Día	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4	Fórmula 5
8	32.83	11.13	15.66	27.33	31
16	91.33	33.33	52.66	79.16	86.33
20	-	83.33	84	88	87.33

Fuente: el autor.

El crecimiento del micelio *Pleurotus ostreatus*, en las cinco fórmulas de bagazo de caña y roble, aumentó con el tiempo, luego de 20 días de haber sido inoculado, la F1 presentó el mayor porcentaje 91.33%, seguido por la F4 con 88% y F5 87.33% (Ver Cuadro 13).

Figura 15. Colonización de bagazo de caña a 20 días de la inoculación



Fuente: el autor.

También se pudo identificar que en el bagazo de caña se presentan los mayores niveles de colonización óptima en el día 16, mientras que el roble obtuvo una colonización óptima en el día 20, cinco días después del bagazo.

Los resultados de la colonización al día 8 arrojaron según el análisis de varianza que las fórmulas evaluadas presentan diferencias significativas para una confiabilidad del 95%, frente a la colonización del micelio (ver Anexo B) y la prueba de Tukey arrojó como resultado que la F1 con un promedio de colonización de 32.83% representada con la letra a fue diferente de F5, F4, F3 representadas con las letras ab, con promedios de colonización no tan altos como la F1 y la F2 representada con la letra b, la fórmula con mas bajo porcentaje frente a la colonización del micelio (ver Anexo C).

Los resultados de la colonización al día 16 arrojaron según el análisis de varianza para un  $\alpha=0.05$  que el comportamiento es diferente en las cinco fórmulas evaluadas (ver Anexo D), según la prueba de Tukey, las fórmulas F1, F5 y F4 no son diferentes entre si, arrojando los promedios de colonización mas altos respectivamente, pero si son diferentes con las fórmulas F3 y F2, las cuales tienen lo promedios de colonización mas bajos (ver Anexo E).

En el día 20 las fórmulas evaluadas fueron la 2, 3, 4 y 5, ya que la fórmula 1 colonizó a los 16 días y esta fue aislada para la etapa de fructificación. El análisis de varianza para un  $\alpha=0.05$ , arrojó que no hay diferencias significativas entre las fórmulas (ver Anexo F).

El alto grado de colonización del bagazo de caña, puede deberse a la composición que presenta este sustrato, su estructura constituida por dos clases de fibras longitudinales y diámetros diferentes, las fibras corticales las cuales tienen como función servir de sostén y las fibras medulares encargadas de la circulación de agua y sales con una consistencia esponjosa, así como las sustancias elaboradas por la misma planta (CORPOICA, 1993), siendo menos rígida que la estructura de la hoja de roble la cual tiene la condición de ser esclerófila o coriácea es decir con hojas duras, debido a un gran desarrollo del tejido esclerenquimático, muy rico en lignina, además de tener recubrimiento de ceras en la cutícula, siendo esta característica una adaptación de la especie frente temporadas de sequía <http://www.botanical-online.com/encina.htm>.

Este hecho demostró que en la hojarasca de roble es mas lento el proceso de degradación del sustrato ya que la celulosa y la hemicelulosa son moléculas que deben ser liberadas por la lignina (Guzmán et al, 1993), esto puede evidenciarse durante la adecuación del sustrato, viendo la necesidad de realizar procesos adicionales que suavizarán sus fibras.

Otro de los factores por el cual el porcentaje de colonización es bajo en hojarasca de roble, es su baja capacidad de retención de humedad, debido a su dureza, lo que evita que la humedad ingrese a la superficie, obligando a ablandar sus fibras por medio de un proceso de remojo durante 24 horas, lo cual no fue necesario realizar con el bagazo por tener una capacidad de absorción mucho mas alta por tener una medula esponjosa. (CORPOICA, 1993). Este hecho pudo influir en la baja colonización del micelio ya que en sustratos que tengan bajo contenido de agua, el micelio crecerá de manera irregular y con poco vigor y es más fácilmente afectado por organismos competidores (Guzmán Gastón *et al*, 1993).

**4.2.3 Producción de setas.** En el cuadro 14 se presentan los resultados obtenidos en la producción de setas para cada una de las fórmulas evaluadas.

Cuadro 14. Producción promedio del hongo *P. ostreatus* para cada cosecha (g)

Cosecha	F1	F2	F3	F4	F5
Primera cosecha	248.33	283.33	116.67	162.67	196.67
Segunda cosecha	228.33	90.00	97.00	148.33	121.67
Tercera cosecha	121.67	50.67	57.67	80.00	65.67

Fuente: el autor.

La primera fructificación se presentó a las 4 semanas de haberse iniciado el ciclo (ver Figura 16) de cultivo, y según las experiencias, se obtienen tres cosechas como promedio a lo largo de 30-40 días de cultivo, esperando entre 7-10 días de intervalo entre cada cosecha, lo cual arroja una duración total del ciclo de aproximadamente 60 días luego (Romero y Rodríguez, 1994).

Figura 16. Primera fructificación de *Pleurotus ostreatus* en bagazo de caña y hojarasca de roble



Fuente: el autor

En la producción de setas se evaluaron tres cosechas consecutivas las cuales tuvieron un tiempo de 10 días cada una. La primera cosecha para la F1 arrojó 248.33 g por unidad experimental de 2 kg de sustrato, siendo mayor a los encontrados en las cosechas posteriores de 228.33 g y 121.67 g (ver Cuadro 14), de igual manera se presentó un comportamiento similar en las otras fórmulas evaluadas. Los valores en la producción de setas se presentaron de forma descendente, esta disminución de la cantidad de setas durante las cosechas puede ser debida al agotamiento que sufre el sustrato, el cual pierde mucho peso

y materia orgánica (García Rollan, 1998), implicando una disminución en la cantidad de nutrientes y por tanto disminución en el rendimiento de producción.

Otras investigaciones arrojaron resultados de producción promedio de hongos en sustrato de pulpa de café en la primera cosecha de 248.33g, pero con unidades experimentales de 3 kg, lo que indica 86 g/kg de sustrato (Sarasti y Muelas, 2008), mientras que el sustrato bagazo de caña en la primera cosecha arrojó 248.33g, con una unidad experimental de 2 kg, con un valor de 124.17g/kg de sustrato, valor mucho mas alto que el de pulpa de café, otros sustratos como la pulpa y el pasto King Grass arrojaron valores de 385 g /3kg sustrato, 128.33g /kg sustrato (Sarasti y Muelas, 2008) siendo este un valor mas alto que los mencionados, por lo que se puede decir que la producción de promedio de hongos es diferente para cada sustrato y este debe ser evaluado respecto a su naturaleza física y química.

Para la evaluación del sustrato se determinó el rendimiento en peso de las setas producidas en cada fórmula utilizando como indicador la eficiencia biológica, determinando el porcentaje en base seca tanto para el bagazo de caña como para la hojarasca de roble, los valores fueron 13.54% y 29.76% respectivamente.

En el cuadro 15 se presentan los valores promedios de las EB% de las diferentes fórmulas evaluadas para el total de la producción.

Cuadro 15. Eficiencias biológicas promedio (%) de cada fórmula en la producción total de *P.ostreatus*

Fórmulas	EB%
Fórmula 1: 100% bagazo de caña	221.1
Fórmula 2: 100 % hojarasca roble	44.35
Fórmula 3: 75% hojarasca roble 25% bagazo de caña	52.78
Fórmula 4: 50% hojarasca roble 50% bagazo de caña	90.30
Fórmula 5: 25% hojarasca roble 75% bagazo de caña	109.12

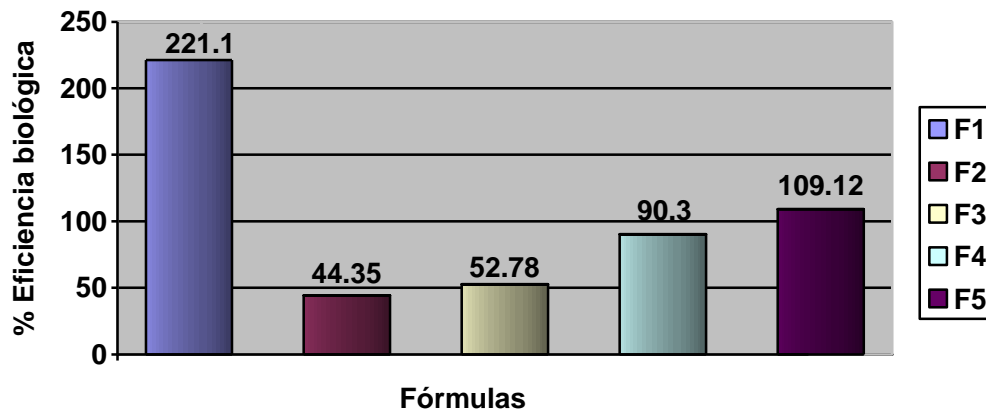
Fuente: el autor.

Se puede observar claramente que el sustrato con mayor eficiencia biológica es el bagazo de caña con un 221.1% valor mucho mayor al de la hojarasca de roble de 44.35% (ver Figura 17), en general se dice que el bagazo de caña es un buen sustrato para el cultivo de hongos comestibles, especie *Pleurotus ostreatus*, ya que contiene una composición química adecuada y una estructura que permite una buena aireación y capacidad para retener humedad, registrándose eficiencias biológicas de 108% y superiores de 195% (Bonilla y López, 2001). Sin embargo el problema de la degradación de lignina todavía no se ha resuelto, ya que, la producción de enzimas por parte de los hongos varía con respecto a las condiciones y nutrimentos presentes en el medio de cultivo (Cardona, 2001). Los bajos rendimientos de algunos sustratos lignocelulósicos se pueden mejorar mediante compostaje (Martínez *et al.* 1990), o utilizando diferentes mezclas de



lignocelulósicos (Arenas, 1992), y aún con aditivos minerales u orgánicos (Hincapié, 1993).

Figura 17. Eficiencia biológica promedio (%) de los sustratos en la producción total de *P. ostratus*.



Fuente: el autor.

El bajo valor de EB% en la F2 sustrato de roble ver gráfica 3, se debe a la naturaleza del sustrato, ya que la hoja de roble es esclerófila término que relaciona a la dureza de esta con la lignina, la cual evita el marchitamiento de las hojas en condiciones de sequía (Deltoro, 2007), una investigación sobre el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en hojarasca de almendro (*Terminalia catappa*) reportó una eficiencia biológica de 44.47%, la cual es similar a la obtenida en la hojarasca de roble, ya que el almendro similar que el roble tiene hojas coriáceas, presentando un comportamiento similar en la producción de setas. Mientras que en bagazo de caña los resultados fueron de 221.1% el mas alto reportado hasta ahora, siendo reportados valores menores de 66.8% por Sarasti *et al*, (2008), y bagazo de caña con semillas de guayaba 195.65% reportado por, Bonilla y Paz, (2001).

Se realizó el análisis de varianza para un  $\alpha=0.05$ , para la eficiencia biológica en producción total de setas, el cual arrojó que hay diferencias significativas entre las fórmulas evaluadas (ver Anexo G).

La prueba de Tukey arrojó que la F1 es diferente de la F5, esta es similar a la F4 y esta a su vez es similar a la F3, se puede observar que las fórmulas con mayor promedio de eficiencia biológica en la producción de hongos fue la F1 y F5, representadas por las letras, a y b, y que la fórmula con menor promedio es la F2 representada (ver Anexo H).

En la primera cosecha las fórmulas evaluadas presentan diferencias significativas para la eficiencia biológica (%) en la producción. (ver Anexo I) La prueba de Tukey mostró que la F1 es diferente de F5 y F2, la F5 y la F4 son similares entre si y la F4 y la F3 también son similares, la fórmula con mayor eficiencia biológica promedio en la producción total fue la F1, seguida de la F2 con un promedio de 55.89%. (ver Anexo J)).

Para la segunda cosecha el análisis de varianza para un  $\alpha=0.05$  arrojó que hay diferencias significativas entre las fórmulas evaluadas para la eficiencia biológica en la producción total (ver Anexo K). La prueba de Tukey mostró que la F1 representada con la letra a es diferente de las demás fórmulas evaluadas, obteniendo el mayor promedio para la eficiencia biológica en la producción de total (ver Anexo L).

En la tercera y última cosecha el análisis de varianza para un  $\alpha=0.05$  entregó como resultado que hay diferencias significativas entre las fórmulas para la eficiencia biológica en la producción total (ver Anexo M). La prueba de Tukey arrojó que la F1 representada con la letra a es diferente de las demás fórmulas evaluadas, obteniendo el mayor promedio para la eficiencia biológica en la producción total. (ver Anexo N))

Como se pudo observar en los cuadros 23, 24 y 25, se presentaron diferencias en la producción de setas entre la primera, segunda y tercera cosecha, esto debido a la composición fisicoquímica, lo cual hace que la disponibilidad de los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo del hongo *Pleurotus ostreatus* se de en distintos grados, sumado a esto también se debe considerar el agotamiento de las mismas (Rodríguez y Jaramillo, 2005)

El sustrato agotado después de la tercera o cuarta cosecha, puede adecuarse para ser incorporado al alimento animal, pues conserva en su interior el micelio del hongo, el cual lo ha deslignificado, haciéndolo a su vez más rico en proteínas y otros nutrientes y apto para la alimentación animal (Romero y Rodríguez, 1994).

**4.2.4 Calidad de las setas.** Esta dada por aspectos organolépticos, de forma y estado fitosanitario.

En cuanto al color las setas presentaron en los primeros días de fructificación un color gris claro el cual va disminuyendo de intensidad a medida que crece y al final de su crecimiento presenta un color blanco castaño con sabor agradable lo cual se considera normal según (Guarín y Ramírez, 2004). El olor de las setas fue algo fuerte, tierna al principio y correosa al final como lo reporta Guzmán, 1990.

La forma del sombrero o el píleo fue redonda, con la superficie lisa, abombada y convexa, en forma de ostra o concha.



Figura 18. Setas de *P. ostreatus* color gris claro y color blanco castaño en el crecimiento inicial y final



Fuente: el autor

El tamaño de las setas cosechadas en su madures se caracterizaron por alcanzar diámetros de 5 a 12 cm. (ver Figura 19), tamaño registrado por Guzmán, 1990. Con un peso variable de 50 a 80 gramos, etapa en la cual tiene todos los elementos básicos que conforman el estado nutricional del producto de diámetro (Velasco, 2004).

Figura 19. Setas con diámetros de 5 a 10 cm obtenidas durante la etapa de la cosecha



Fuente: el autor.

En el estado fitosanitario del cultivo se refiere a la presencia de plagas y enfermedades en los hongos, en los cuales se detectó la presencia de cucarrones o mariquitas (*Coccinella septempunctata*) ocasionando perforaciones a los sombreros de los hongos. Para evitar el ataque de plagas es necesario cosechar

las setas en el momento indicado para evitar que se sobremaduren y se pudran atrayendo insectos no deseados (Velasco, 2004).

**4.2.5 Condiciones ambientales.** En la etapa de la fructificación las condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura que se presentaron en el transcurso de las tres semanas de producción de las tres cosechas (ver Cuadro 26)

Cuadro 16. Condiciones ambientales presentes en la fructificación de *Pleurotus ostreatus*

Semana	Temperatura promedio °C	Humedad relativa promedio (%)
1	18.91	85.50
2	18.64	81.50
3	19.30	80.11

Fuente: el autor

Se presentó una humedad relativa entre el 80 y 86 % y una temperatura entre 18 y 20 °C (ver Cuadro 16), siendo esto los niveles ideales para un buen crecimiento y desarrollo de los carpóforos (García, 1987).

**4.2.6 Composición nutricional de sustratos.** Se realizó un análisis proximal al sustrato de hoja de roble y bagazo, tomando una muestra representativa del sustrato inicial y una del sustrato final para posteriormente ser comparadas. Los resultados se reportan en los cuadros 17 y 18.

Cuadro 17. Análisis proximal de sustrato inicial y final de hojarasca de roble (% base seca)

Determinación	Método	Resultado	
		Inicial	Final
Ceniza	Gravimétrico	2.37%	24.93%
Extracto Etéreo o Grasa Bruta	Soxleth	1.42%	2.73%
Extracto No Nitrogenado	Deducido	46.99%	21.70%
Fibra Bruta	Digestión Acido-Base	40.02%	37.52%
Proteína Bruta X 6.25	Deducido	9.20%	13.12%
Nitrógeno Total	Kjeldhal	1.47%	2.09%

Fuente: SERVIQUÍMICA, 2009

Los hongos son organismos que descomponen y metabolizan eficientemente la lignina gracias a enzimas capaces de estos desdoblamientos (Platt *et al.* 1983). Es por esto que se observan diferencias entre el sustrato inicial y el final debido al agotamiento que sufre el sustrato, durante el cultivo perdiendo mucho peso y materia orgánica, esta pérdida implica una disminución en la cantidad de

nutrientes en el sustrato y por lo tanto disminución en el rendimiento de producción (García Rollan, 1998).

En el sustrato con hoja de roble al 100%, se presentó un incremento de la ceniza de un 2.37% en el sustrato inicial a un 24.93% en el sustrato final (ver Cuadro 17), debido a que en la adecuación se le adicionó el 5% de carbonato de calcio, componente protector y antagonista de algunos microorganismos competidores, además de controlar la acidez de dicho sustrato (Gaitán y Salmones, 2006).

El extracto etéreo o grasa bruta se incrementó del sustrato inicial de 1.42% a 2.73%, esto debido a la pérdida de materia orgánica, lo que hace que se concentren en mayor proporción (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

Así mismo, se determinó un considerable contenido de extracto no nitrogenado del 46.99% (ver Cuadro 17), “en esta fracción se agrupan mono y disacáridos, la parte soluble de la celulosa, pentosanas y lignina, las hemicelulosas, el almidón, la inulina y toda clase de azúcares, materias pécticas, ácidos orgánicos y otras materias solubles libre de nitrógeno” (Bernal, 1994), las cuales junto con la fibra bruta constituyen la principal fuente de carbono, necesaria para los hongos porque es la fuente directa de energía para su metabolismo y también para la formación de las diferentes partes y estructuras celulares (Sánchez y Royse, 2001).

Este hecho finalmente es el que explica por que el hongo tardó mas tiempo en la etapa de incubación en el sustrato roble, debido a que la mayor presencia de lignina actúa como compactante de la estructura del complejo lignocelulósico, impidiendo una colonización completa de *Pleurotus ostreatus*, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular, dificultando la digestibilidad de la fibra (González, 2008).

Otro componente que se encontró en elevado contenido fue la fibra bruta, la cual está constituida básicamente por hemicelulosa, celulosa y lignina, igual que en el anterior esta disminuyó del sustrato inicial al final; éste es un aspecto favorable ya que las especies de *Pleurotus* son capaces de degradar materiales ricos en los compuestos citados anteriormente. Igualmente el porcentaje de nitrógeno aumentó del inicial al final, debido a la pérdida de materia orgánica, lo que hace que se concentren en mayor proporción (Rodríguez y Jaramillo, 2005), además del micelio residual rico en proteína remanente en el sustrato final.

Cuadro 18. Análisis proximal de sustrato inicial y final de bagazo de caña (%base seca)

Determinación	Método	Resultado	
		Inicial	Final
Ceniza	Gravimétrico	2.94%	21.08%
Extracto Etéreo o Grasa Bruta	Soxleth	0.34%	1.95%
Extracto No Nitrogenado	Deducido	42.87%	28.86%
Fibra Bruta	Digestión Acido-Base	52.91%	45.74%
Proteína Bruta X 6.25	Deducido	0.93%	2.37%
Nitrógeno Total	Kjeldhal	0.15%	0.38%

Fuente: SERVIQUÍMICA, 2009

El análisis proximal realizado al sustrato de bagazo es similar al reportado por Rodríguez, 2001 en el cuadro 4, sin embargo se realizó el análisis para el sustrato inicial y el final observándose algunas diferencias.

La muestra de bagazo de caña tienen un alto contenido en fibra con 52,91% (ver Cuadro 18), con un contenido de celulosa de 48% y lignina 14.3% de acuerdo a lo reportado por Mushworld, (2005). Esta composición facilita que el hongo pueda realizar la transformación de una manera mas fácil de los nutrientes que requiere.

De igual forma, se observa un incremento importante en las cantidades de cenizas que como se describió anteriormente fue por la adición de carbonato de calcio pero también a minerales como el potasio, manganeso y zinc presentes en el sustrato utilizado, los cuales son reportados por Montoya y Restrepo, (2006).

Respecto a la proteína bruta se evidenció un aumento de 0.93% a 2.37%, estos resultados muestran que *Pleurotus ostreatus* tiene una alta capacidad de síntesis de proteína en el crecimiento sobre el bagazo de caña (Montoya y Restrepo, 2006). El micelio residual presente en el sustrato y la pérdida de CO<sub>2</sub> resultante del proceso bioxidativo, se encuentran relacionados con la concentración de nutrientes (Eichlerová *et al.*, 1997). En cuanto al extracto etéreo o grasa aumentó del sustrato inicial con un 0.32% a 1.76% en el sustrato final.

## 5. CONCLUSIONES

En el relicto de bosque de roble estudiado, en el municipio de Cajibío, la caída de la hojarasca de roble fue permanente en el período de tiempo estudiado. Los valores registrados de la hojarasca recolectada 7.411 kg por árbol fueron menores a los reportados en investigaciones previas 11 kg por árbol, esto debido a diferencias tanto en agentes internos como la composición como agentes externos tales como la intervención y condiciones climáticas.

El hongo comestible *Pleurotus ostreatus* desarrolla su ciclo biológico sobre materiales lignocelulósicos tales como bagazo de caña y hojarasca de roble sustratos disponibles en el departamento del Cauca, aportando a la solución ambiental de la comunidad, dándole una utilización adecuada a los desechos causantes de contaminación y disminuyendo la presión antrópica hacia especies en vía de extinción como el roble.

El sustrato de hojarasca de roble arrojó resultados aceptables dentro de la producción de *Pleurotus ostreatus*, con una eficiencia de 44.35%, sin embargo para poder alcanzar mayores eficiencias biológicas es necesario incluir materiales mas fáciles de degradar por el micelio.

Por consiguiente en la utilización de la hojarasca de roble se deben buscar condiciones de adecuación que permitan el ablandamiento de las fibras, para que el *Pleurotus ostreatus* pueda utilizar sus nutrientes de una manera mas fácil y rápida.

La contaminación en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* se evitó utilizando un adecuado tratamiento de pasteurización, además de controlar las condiciones ambientales y sanitarias del cuarto de incubación y fructificación de las setas.

La biotecnología de la producción de hongos comestibles se puede adaptar fácilmente en comunidades rurales y constituye una alternativa viable en la producción de alimentos ya que se pueden producir a bajo costo, con técnicas sencillas en poco tiempo, en área pequeña y no afecta las actividades cotidianas de la vida campesina.

El sustrato agotado mostró una disminución significativa en la materia orgánica y fibra bruta; la ceniza, la proteína bruta y minerales (calcio y potasio) mostraron un aumento del sustrato inicial al sustrato final y se produjo una disminución en el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa.

En el sustrato de hojarasca de roble no hubo una degradación eficiente de la lignina por parte del *P. ostreatus*, debido a la naturaleza del sustrato, lo que afectó la colonización del micelio y la producción de carpofóros.

El sustrato agotado por el hongo *Pleurotus ostreatus* puede ser usado en la alimentación de rumiantes, los cuales recibirán un alimento de mejor calidad, ya que tendrían mayor proteína disponible, celulosa para su biota intestinal y menor contenido de lignina la cual no es digerida por estos animales. Además de esto también puede ser utilizado como compost al suelo, incrementando la materia orgánica.

## 6. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar pruebas preliminares en la adecuación del sustrato de roble con el fin de acondicionar sus fibras, así mejorar las características físicas de este sustrato, facilitando la colonización del micelio y la producción de setas.

Se recomienda un exigente proceso de desinfección, ya que este es un factor determinante para el buen desarrollo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*.

Las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa y luminosidad, deben ser reguladas adecuadamente para la reproducción, crecimiento y desarrollo del hongo, por tanto, se recomienda mantener un seguimiento y control de estas variables.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

ASTAIZA, P.; PAZ, I.; ORTIZ, B URBANO, Z. Determinación de una metodología para la utilización de residuos agrícolas (cascarilla de café, pasto de corte, espárrago, vainas de frijol y arveja) generados en el municipio de Popayán y evaluación del efecto de los sustratos en la producción de setas (*Pleurotus ostreatus*). Trabajo de grado Ingeniero Agroindustrial. Popayán: Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2002. p 48-54.

ARENAS, M. Evaluación de numerosos sustratos para el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Medellín. Tesis de pregrado para optar al título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias. 1992

BERNAL, I. 1994. Análisis de alimentos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, citado por LARA, Cecilia. Evaluación fisicoquímica y bromatológica de la Guayaba Agria (*Psidium araca*) en dos estados de maduración. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 36, No. Especial, 2005. p 18.

BONILLA, Á y PAZ, I. Evaluación de la cascarilla de café como sustrato para la producción de *Pleurotus sp* y posterior uso como enmienda para el suelo en cultivos de frijol y maíz, universidad del cauca. Trabajo de grado Ingeniero Agroindustrial. Popayán: Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2005. 101p.

CANHAN, C.;FINZI, S.; PACALA y Burbank, D. 1994. Causes and consequences of resources heterogeneity in forest: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Canadian Journal of forest Research*. 24: 337-349

CARDONA, L. “Hongos: Alimento y Medicina”. Internet: (<http://www.reuna.unalmed.edu.co/temporales/memorias/especies/Magistrale>).

CHEN, J. Manual del azúcar de caña. Para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados. México: Limusa Noriega, 2000. p 315-148

CHUNG , P. “Incorporación de *Boletus edulis* y *Boletus pinicola* en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile: ciencia e investigación forestal, volumen 13 N° 2”.Internet: ([http://www.infor.cl/centro\\_documentacion/documentos\\_digitales/revista\\_cifor\\_n2\\_2007.pdf](http://www.infor.cl/centro_documentacion/documentos_digitales/revista_cifor_n2_2007.pdf)).

CORPOICA, CIMPA. Manual de caña para panela. Barbosa (Santander). 1993



DANTART, A. y FERNANDEZ A. "Portal de Ciencia y Tecnología: "Robledales en Colombia". Internet. (<http://100cia.com>).

DELTORO, V. Hojas del mediterráneo. Mayo, 2007. Diap N°8

EICHKEROVÁ, I. y HOMOLKA. Variability of lignolytic enzyme activities in basidiospore isolates of the fungus *Pleurotus ostreatus* in comparison with that of protoplast derived isolates. *Folia Microbiologica*, 1997.p 583-588.

FLETCHER, J.; WHITE, F.; GAZE R. Mushrooms: Pest and disease control. 2 . Ed. Londres, Intercept Limited, 1986. 159p.

FINZI, A, N.; VANBREEMEN y CANHAM, C 1998. Canopy tree soil interactions within temperate forest: species effects on pH and cations. *Ecological Application* 8: 447-454.

GARCÉS, A. "Evaluación de algunos sustratos orgánicos como sustrato para el cultivo de hongos comestibles. Internet: (<http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista>).

GARCIA, M. Cultivo de setas y trufas. 3 Edición. Madrid: Mundi-Prensa, 1998.260 p.

GUARÍN, J. y RAMIREZ, R. "Estudio de factibilidad técnico-financiero de un cultivo del hongo *Pleurotus Ostreatus*".Internet: (<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis79.pdf>).

GAITÁN, R y SALMONES, D. "Manual Practico del Cultivo de Setas: aislamiento, siembra y producción". México: 2006. p 4 - 20.

GOMEZ, J y GALEANO, G. Bogotá D.C.2004, vol.9. N° 2. Influencia de los factores modeladores sobre el efecto de borde, en un relicto de bosque altoandino en Colombia.

GUZMÁN, G. Y MATA, G. y otros.- "El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales". Instituto Politécnico Nacional. 1993. México. p 245.

JOHNSON, E y CATLEY, K. La vida en la hojarasca. New York: American Museum of Natural History, 2005. P 1-5.

KALAÉ,P. y SVOBODA, L. A review of trace element concentrations in edible mushroom. *Food Chemistry*, 2000. p 273-281.

HERNÁNDEZ, I. y REGINA, F. 1992. Dinámica de la descomposición forestal en bosques de la cuenca del Duero (Provincia de Zamora): Modelización de la pérdida de peso.

HIGUERA, D y MARTINEZ, E. "Hojarasca y los flujos de nutrientes en el dosel de robles neotropicales bosque nublado – Colombia". Internet: (<http://www.lyonia.org>).

Manual del cultivador de hongos 1. Capitulo 5. Mushworld. Sustrato Bagazo de Caña. p121.

MONTOYA, S.; RESTREPO, G. Evaluación de la síntesis de proteína a partir del crecimiento vegetativo de *Pleurotus Sp.* sobre residuos de Algarrobo y Uva Pasa .Revista Universidad de Caldas, Enero - Diciembre 2006, págs. 23 – 31.

NIETO, V. y RODRIGUEZ, J. Corporación Nacional de Investigación of Forestal. Santafé de Bogotá, Colombia. 2006. p 680.

PEREZ, R. "Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción". Internet: ([http://www.ecologia.edu.mx/smdm/rmm/rmm\\_vol\\_20/TRABAJO%209.pdf](http://www.ecologia.edu.mx/smdm/rmm/rmm_vol_20/TRABAJO%209.pdf)).

SALMONES, D.; WALISZEWSKI, G. y GUZMÁN, 1996. Use of some agroindustrial lignocellulose by-products for edible mushroom *Volvariella volvacea* cultivation. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 12: 69-74.

SÁNCHEZ, J. y ROYSE, D. La Biología y el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. México: Noriega editores, 2001.26p.

SARDSUD, U. Nutricional requeriments of *Pleurotus ostreatus*. Phillipine Agriculturist. Vol 64. Internet: 1981.

SECRETARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO Y FOMENTO AGROPECUARIO. Evaluación por censo agropecuario. Distribución de los cultivos y explotaciones pecuarias por municipios en el Cauca. Colombia: Secretaria de desarrollo agropecuario y fomento económico, 2004.

STAMENTS, P. Growing gourmet & medicinal mushrooms. Ed Ten Speed Press. Hong Kong, China. 1993

STOCKER C.;THOMPSON,A. (1995) Annual patterns of litterfall in lowland and tableland rainforest in topical Australia. *Biotropica* 27: 412-420.

RAMÍREZ, J.; ZAPATA, C.; LEON, J.; GONZALEZ, M. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. Mayo, 2007, vol.60, N°1, p 303-302.

RODRIGUEZ N. Y JARAMILLO, C. Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. Chinchiná. Caldas: Cenicafé, 2005. p. 5-52.

ROMERO, M y ROGRIGUEZ. "*Pleurotus ostreatus*: Grandes perspectivas para la alimentación animal y humana". Cienfuegos: MINAZ, 1990. 5p.

PLATT, M.W., HADAR, Y., HENIS, y CHET, I. Increased degradation of straw by *Pleurotus ostreatus* sp. Florida. European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology. 1983. p. 140-142.

Plan de Ordenamiento Territorial del departamento del Cauca, 2002

VELAZQUEZ, M. Competición entre *Pleurotus ostreatus* y *Trichoderma*. 2006. Francia

VENEKLAAS, E. Litterfall and nutrient fluxes in two montane tropical rain forests, Colombia. *J. Trop. Ecol.* 1991: 319-336.

## BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

CHANG, S. y HAYES, S. "Cultivation of *Pleurotus*".In:" The biology and cultivation of edible mushrooms". F. Zadrazil. Academic Press, 1978, Nueva York.

GARCÍA, M. "Cultivo Industrial de *Pleurotus Ostreatus*". Pesca y Alimentación. Publicaciones de Extensión Agraria, Num 11/82 HD: Ministerio de Agricultura, Corazón de María, 8- 28002, Madrid, España.

PIÑA, C. Sc. Ciencias Biológicas; M.Sc.; M.Sc. Docencia Universitaria; Especialista en Nutrición Animal Sostenible; Especialista en Informática y Multimedia. Curso de microbiología. Protocolo académico. Universidad Nacional abierta y a distancia-UNAD. p.68. Bogota. 2005.

CHANG, S y QUIMIO,T. "The biology of *Pleurotus* cultivation in the tropics".In: "Tropical mushrooms. Biological nature and cultivation methods". F. Zadrazil y R.H. Kurtman. The Chinese University Press, 1982 Hong Kong.

RODRÍGUEZ, A y ROMERO, M "Sistema de Doble Bolsa, una variante económica en la tecnología de cultivo de hongos comestibles". Universidad de Cienfuegos: Cienfuegos. 1994. 31 h.

SAÉNZ, T. "Aspectos económicos, costos de las producciones: Evaluación económica del proceso de producción de hongos comestibles y forraje beneficiado".C. Habana: ICIDCA, 1990.-- 6 h.

# **ANEXOS**

**Anexo A. Análisis de varianza contaminación**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	772.25	4	193.06	3.99	0.03	3.48
Dentro de los grupos	483.98	10	48.40			
Total	1256.23	14				

**Anexo B. Análisis de varianza colonización 8 días**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1102.07	4	275.52	4.66	0.022	3.48
Dentro de los grupos	591.17	10	59.12			
Total	1693.23	14				

**Anexo C. Prueba de Tukey colonización 8 días**

Fórmula	Promedio	Grupo Tukey
1	32,83	a
5	31	ab
4	27.33	ab
3	15.67	ab
2	11.33	b

**Anexo D. Análisis de varianza colonización 16 días**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	7321.6	4	1830.4	41.62	3.341E-06	3.48
Dentro de los grupos	439.83	10	43.98			
Total	7761.43	14				

**Anexo E. Prueba de Tukey colonización 16 días**

Fórmula	Promedio	Grupo Tukey
1	91.33	a
5	86.33	a
4	79.17	a
3	52.67	b
2	33.33	c

**Anexo F. Análisis de varianza colonización 20 días**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	49.33	3	16.44	0.45	0.72	<b>4.07</b>
Dentro de los grupos	289.33	8	36.17			
Total	338.67	11				

**Anexo G. Análisis de varianza para la eficiencia biológica en la producción total**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	60398.99	4	15099.75	52.71	1.0996E-06	3.48
Dentro de los grupos	2864.94	10	286.49			
Total	63263.93	14				

**Anexo H. Prueba de Tukey para la eficiencia biológica en producción total**

Fórmula	Promedio	Grupo Tukey
1	221.21	a
5	109.12	b
4	90.30	bc
3	52.78	cd
2	44.35	d

**Anexo I. Análisis de varianza para la primera cosecha**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	10337.96	4	2584.49	<b>17.23</b>	0.0002	<b>3.48</b>
Dentro de los grupos	1499.67	10	149.97			
Total	11837.64	14				

**Anexo J. Prueba de Tukey primera cosecha**

Fórmula	Promedio	Grupo Tukey
1	91.77	a
5	55.89	b
4	37.57	bc
3	22.69	cd
2	20.72	d

**Anexo K. Análisis de varianza segunda cosecha**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	9176.87	4	2294.22	10.47	0.001	3.48
Dentro de los grupos	2192.16	10	219.22			
Total	11369.03	14				

**Anexo L. Prueba de Tukey segunda cosecha**

Fórmula	Promedio	Grupo Tukey
1	84.32	a
5	34.57	b
4	34.26	b
3	18.87	b
2	15.12	b

**Anexo M. Análisis de varianza tercera cosecha**

Análisis de Varianza						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2502.03	4	625.51	18.35	0.0001	3.48
Dentro de los grupos	340.86	10	34.09			
Total	2842.90	14				

**Anexo N. Prueba de Tukey tercera cosecha**

Fórmula	Promedio	Grupo Tukey
1	44,93	a
5	18,66	b
4	18,48	b
3	11,22	b
2	8,51	b



**Anexo O. Colonización de *P. ostratus* (%) en las cinco fórmulas evaluadas**

Días	Fórmula1			Fórmula2			Fórmula3			Fórmula4			Fórmula5		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
8	15.5	38	45	4	17	13	15	16	16	30	27	25	29	30	34
16	89	90	95	25	35	40	65	50	43	82.5	80	75	85	90	84
20	100	100	100	75	85	90	86	91	75	90	89	85	84	87	91

**Anexo P. Peso en (g) de la producción de setas *P.ostreatus***

Cosecha	Fórmula1			Formula2			Fórmula5			Fórmula4			Fórmula5		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	250	200	295	120	120	130	150	95	105	70	189	229	170	205	215
2	130	280	275	70	90	110	77	93	121	125	170	150	150	110	105
3	120	150	95	50	45	57	66	48	59	110	60	70	50	85	62
<b>Total</b>	500	630	665	240	255	297	293	236	285	305	419	449	370	400	382

**Anexo Q. Eficiencia biológica (%) de las fórmulas en la producción de setas**

Días	Fórmula1			Fórmula2			Fórmula3			Fórmula4			Fórmula5		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>1cos</b>	250	200	295	120	120	130	150	95	105	70	189	229	170	205	215
<b>2cos</b>	130	280	275	70	90	110	77	93	121	125	170	150	150	110	105
<b>3cos</b>	120	150	95	50	45	57	66	48	59	110	60	70	50	85	62
<b>Total</b>	500	630	665	240	255	297	293	236	285	305	419	449	370	400	382
<b>EB%</b>	184,6	233	246	40,3	42,8	49,9	56,9	45,9	55,4	70,4	96,7	103,7	105,1	113,7	108,5

**Anexo R. Eficiencia biológica (%) de la primera cosecha**

<b>Fórmulas</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>II</b>
<b>1</b>	92.32	74	109
<b>2</b>	20.16	20.16	21.84
<b>3</b>	29.18	18.48	20.42
<b>4</b>	16.17	43.65	52.89
<b>5</b>	48.31	58.26	61.1

**Anexo S. Eficiencia biológica (%) de la segunda cosecha**

<b>Fórmulas</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>II</b>
<b>1</b>	48.01	103.4	102
<b>2</b>	11.76	15.12	18.48
<b>3</b>	14.98	18.09	23.54
<b>4</b>	28.87	39.26	34.64
<b>5</b>	42.63	31.26	29.84

**Anexo T. Eficiencia biológica (%) de la tercera cosecha**

<b>Fórmulas</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>II</b>
<b>1</b>	44.31	55.39	35.08
<b>2</b>	8.40	7.56	9.58
<b>3</b>	12.84	9.34	11.48
<b>4</b>	25.40	13.86	16.17
<b>5</b>	14.21	24.15	17.62