



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

COMITÉ NACIONAL DE CAFETEROS

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Director del Departamento Nacional de Planeación

Miembros elegidos para el período 2003-2006

PRINCIPALES

Juan Camilo Restrepo Salazar
Mario Gómez Estrada
Cesar Eladio Campos Arana
Rodrigo Múnera Zuloaga
Julio E. Marulanda Buitrago
Carlos Alberto Gómez Buendía
Floresmiro Azuero Ramírez
Carlos A. Martínez Martínez

SUPLENTE

Pedro Echavarría Echavarría
Jorge Cala Robayo
Ramón Campo González
Rodolfo Campo Soto
Gerardo Luna Salazar
Alfredo Yáñez Carvajal
Jaime García Parra
Javier Bohórquez Bohórquez

Gerente General

GABRIEL SILVA LUJÁN

Gerente Administrativo

LUIS GENARO MUÑOZ O.

Gerente Financiero

CATALINA CRANE

Gerente Comercial

ROBERTO VÉLEZ

Gerente Técnico

EDGAR ECHEVERRI GÓMEZ

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
GABRIEL CADENA GÓMEZ

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

UNA PUBLICACIÓN DE CENICAFÉ

Editores: Héctor Fabio Ospina Ospina, I.A., MSc.
Sandra Milena Marín López, I.A.
Diseño y Diagramación: Olga Lucía Henao Lema
Fotografía: Archivo Cenicafé

Editado en Octubre de 2004
3.500 ejemplares



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ
"Pedro Uribe Mejía"



CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES
DEL GÉNERO *Pleurotus*
SOBRE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE LA ZONA CAFETERA

Nelson Rodríguez Valencia¹
Carmenza Jaramillo López²

Con el apoyo de:



¹ Asistente de Investigación. Disciplina Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

² Ingeniera Química. Investigadora en Proyectos Especiales, hasta diciembre de 2003. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Chinchiná - Caldas - Colombia

Contenido

1	Introducción	Pág. 5
2	Características generales de los hongos del género Pleurotus	8
	2.1. Relación entre Pleurotus y la salud	9
	2.2. Valor nutricional de Pleurotus spp	9
	2.3. Pleurotus spp. y su potencial como controladores biológicos	10
	2.4. Mercado mundial de Pleurotus spp	10
3	Cultivo de Pleurotus spp en residuos agrícolas de la zona cafetera colombiana	10
	3.1. Producción de la semilla	11
	3.2. Selección y adecuación de sustratos	15
	3.3. Inoculación de los sustratos	19
	3.4. Etapa de incubación	20
	3.5. Etapa de fructificación	20
	3.6. Etapa de cosecha	27
	3.7. Manejo postcosecha	28
	3.8. Evaluación de la producción de Pleurotus spp. sobre diversos sustratos	30
4	Tratamiento y disposición de los residuos del cultivo	39
5	Manejo de enfermedades y plagas	44
6	Problemas en el cultivo y soluciones	50
7	Conclusiones	52
8	Literatura citada	53
9	Glosario	59

1. INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de las actividades productivas de la mayoría de los cultivos agrícolas y de los procesos industriales relacionados con su transformación se generan grandes cantidades de residuos que por lo general son considerados subproductos de muy baja importancia económica.

Dentro de la amplia gama de los subproductos agroindustriales predominan los de naturaleza lignocelulósica (30). Estos subproductos fibrosos han despertado interés como posible fuente directa de alimentos para animales, para la producción de alimentos para consumo humano y para la producción de energía y de fertilizantes (48).

Una secuencia ideal sería utilizarlos mediante una transformación biológica primero, como alimento humano o animal, luego usar las excretas de estos organismos como fuente de energía en los biodigestores y la biomasa residual del biodigestor podría ser usada como fertilizante en los cultivos (48).

En la zona cafetera colombiana se generan permanentemente

residuos agrícolas como producto de las diferentes actividades que allí se desarrollan, por ejemplo: en el cultivo del café en las desyerbas con machete, parte del Manejo Integrado de Arvenses, se genera una gran cantidad de material verde (Figura 1); también, cuando se realiza la renovación por zoqueo se obtienen unas dos toneladas

por hectárea de madera que usualmente es utilizada como combustible (Figura 2) (43). En la época de cosecha se generan residuos en los procesos de beneficio e industrialización, donde se producen materiales de desecho que representan el 90,5% del peso del fruto fresco y sólo se utiliza en forma de bebida el 9,5% de la cereza del café (6).



Figura 1
Biomasa generada en la desyerba de los cafetales.



Figura 2
Tallos de café como subproducto de la etapa de renovación de los cafetales.

Los principales subproductos sólidos generados durante el beneficio del fruto e industrialización del grano de café son: la pulpa, con una producción media de 2 toneladas frescas/ha-año (Figura 3) (43), el cisco, la película plateada y la borra.

Asociados al cultivo del café se tienen cultivos de plátano donde se generan hojas, vástago y pseudotallos; también, cultivos de maíz en los cuales se generan “el capacho” y la “tusa”, y fríjol, que produce vainas y hojas (Figura 4).



Figura 3

Pulpa de café, principal subproducto del beneficio del fruto.

Todos estos residuos obtenidos durante la actividad agrícola ocasionan un impacto ambiental adverso si son arrojados a fuentes naturales de agua.

Una forma de realizar la transformación de estos residuos para su aprovechamiento, es mediante el cultivo de hongos tropicales, debido a la composición química de estos y de otros que se generan en Colombia en el sector agrícola, como los provenientes de la producción de la caña de azúcar, el arroz y el algodón, entre otros.

La producción mundial de hongos, entre comestibles y medicinales, se ha incrementado en más de 18 veces en los últimos 32 años, pasando desde 350.000 toneladas en 1965 hasta cerca de 6'160.800 toneladas en 1997 (46), donde



Figura 4.

Cultivos de maíz y fríjol intercalados con café.

se destaca el cultivo de los géneros Agaricus, Lentinula, Pleurotus y Auricularia. El gran valor proteínico y medicinal de los géneros cultivados permite su acceso a mercados abiertos, con buenos precios de venta en el ámbito internacional.

Los hongos, son potentes agentes biológicos que convierten los residuos orgánicos no comestibles en alimentos humanos palatables. Estos, disminuyen el contenido de lignina que es el principal componente del tejido leñoso, el cual está ligado a la celulosa formando complejos lignocelulósicos que impiden que los rumiantes puedan utilizar la celulosa como fuente de energía. Una vez delignificado el sustrato por la acción de los hongos puede utilizarse en la alimentación animal. Además, estos hongos se reproducen en ausencia de luz solar e independientemente de la ruta fotosintética. La eficiencia de éstos en la conversión en proteína por unidad de área y por unidad de tiempo es muy superior comparada con las fuentes de proteína animal (36).

En Colombia no se ha desarrollado significativamente el cultivo de hongos comestibles y medicinales debido a la escasa difusión de mercadeo y al desconocimiento de las bondades de los hongos en las áreas medicinal y nutritiva.

Para el desarrollo del cultivo de los hongos comestibles en el país puede aprovecharse la zona cafetera por su gran disponibilidad de subproductos fibrosos obtenidos durante los procesos de cultivo y beneficio del café, la diversidad de climas apropiados para el cultivo de los hongos y la cercanía de ésta a los grandes mercados.

Del total del área sembrada en café, el 47,6% corresponde a fincas menores a tres hectáreas y el 16,9% a fincas menores a una hectárea, las cuales están en propiedad de 343.088 familias, de las 566.000 que se dedican al cultivo (14). Las familias con menos de 1 hectárea de cultivo sólo alcanzan a cubrir sus gastos básicos, presentándose en algunos sitios desnutrición en la población infantil. El cultivo de setas alimenticias se presenta, en estos casos, como una excelente alternativa para la producción de proteína para los programas de seguridad alimentaria.

La estrategia a seguir para alcanzar la población necesitada, consiste en capacitar a la mujer y la familia campesina tanto en el cultivo de las setas como en su preparación culinaria y en el conocimiento de las propiedades nutritivas de los hongos para mejorar la dieta alimenticia de sus hijos.

En la ciudad de Manizales, la Fundación Nutrir realizó una

investigación donde se encontró que los niños de zonas marginales, con edades entre los 4 y 15 años, aceptaron las setas comestibles del género Pleurotus spp. (22). Además, teniendo en cuenta que el precio internacional de los hongos Pleurotus spp. en fresco está alrededor de 3 dólares la libra americana (52), no debe descartarse que en el futuro este cultivo pueda convertirse en una fuente de ingresos para los caficultores.

Para la producción de setas comestibles, los pequeños caficultores cuentan con la pulpa de café debido a que en total, producen 952.000 toneladas de pulpa fresca de los 2 millones de toneladas que se generan por año en el país. Esta cantidad de pulpa puede utilizarse para generar una producción potencial aproximada de 68.000 toneladas de hongos comestibles frescos.

La producción de hongos tropicales se presenta como una alternativa desde el punto de vista económico, social y ambiental para el manejo y aprovechamiento de los residuos agroindustriales, la protección del medio ambiente y la generación de empleo. Además, darle un valor agregado a los residuos sólidos y obtener un producto de interés en los mercados internacionales por sus excelentes cualidades alimenticias y medicinales.

2. 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 (10).

Su producción se ha incrementado rápidamente en pocos años. Entre 1986 y 1991, pasó de 169.000 a 917.000 toneladas anuales, un aumento mayor en 5 veces la producción anual inicial. Esta seta ocupa el tercer lugar en este renglón de producción después del

champiñón (*Agaricus bisporus*), y del Shiitake (*Lentinula edodes*) (49).

Tienen la habilidad de descomponer troncos y crecen en un amplio número de residuos, más que ninguna otra especie de cualquier otro grupo. Crecen bien en la mayoría de maderas duras, sobre los productos secundarios de industrias madereras, en la paja de todos los cereales, la caña de azúcar y bagazos, residuos de café, hojas de plátano y

cáscaras de semillas oleaginosas (Figuras 5 y 6) (10).

Naturalmente, las especies de *Pleurotus* spp. crecen como parásitas o como saprófitas en trozos de plantas vivas o muertas que generalmente son pobres en nutrientes y vitaminas. En ambos casos el micelio crece y forma cuerpos fructíferos utilizando los nutrientes a partir de los complejos lignocelulósicos con relaciones carbono/nitrógeno entre 50 y 500 (55).



Figura 5
Producción de *Pleurotus pulmonarius* en subproductos del café.



Figura 6
Cultivo de *Pleurotus ostreatus* en subproductos de algodón.

La cantidad total de nitrógeno y la forma en que está presente define la tecnología de preparación del sustrato. Los hongos del género *Pleurotus* spp., se caracterizan por el rápido crecimiento y la habilidad de colonización del micelio; este atributo facilita la penetración rápida al sustrato (55). Las diversas especies de *Pleurotus* varían en su habilidad para colonizar un sustrato lignocelulósico; no obstante, ésta es influenciada por la naturaleza del sustrato, la degradabilidad del sustrato, la

tasa de crecimiento del hongo y la capacidad de fructificar y convertir los residuos en biomasa comestible (36).

Los rendimientos varían de especie a especie, y en la misma especie varían de acuerdo al sustrato utilizado para su producción; y aún utilizando las mismas especies y sustratos, los rendimientos varían bajo diferentes condiciones de cultivo (36).

La velocidad de crecimiento de las especies de *Pleurotus* está

relacionada con la temperatura. A temperaturas bajas, alrededor de 15°C, la tasa de crecimiento de todas las especies de *Pleurotus* es lineal. Cuando la temperatura está entre 15 y 20°C se acelera el crecimiento de los hongos (56).

Los estadios de desarrollo de *Pleurotus* spp., difieren en sus requerimientos de oxígeno; mientras el crecimiento del micelio se realiza bajo condiciones semi-anaeróbicas, el desarrollo de carpóforos se realiza bajo condiciones aeróbicas (55).

2.1. Relación entre *Pleurotus* spp. y la salud

La sustancia Pleurotin es un compuesto policíclico, el cual ha sido aislado del hongo *P. griseus*, y posee propiedades antibióticas. Algunos polisacáridos

solubles en agua caliente aislados de carpóforos poseen actividad antitumoral (36). *Pleurotus* spp. por su alto contenido de fibra

dietética tienen potencial para ser utilizados en las dietas terapéuticas para la hiperlipemia y la diabetes (36).

2.2. Valor nutritivo de *Pleurotus* spp.

Pleurotus spp. es considerado un alimento de gran valor nutritivo debido a su alto contenido de proteína, fibra y minerales. Los valores de proteína cruda digestible están en el orden del 27% para *P. florida*, del 10,5 al 30,4% para *P. ostreatus* y del 26,6% para *P. sajor-caju*, dependiendo de las condiciones de cultivo (9, 28).

El contenido de grasa promedio en *Pleurotus* spp. es del 2,85%.

Aproximadamente, un 72% de los ácidos grasos totales se encuentran como insaturados. El alto contenido de éste tipo de ácidos grasos es un factor importante para considerarlos como alimentos muy saludables (9).

También, las especies de *Pleurotus* poseen un alto contenido de fibra. Ésta característica permite su preparación en forma de

conservas, debido a que soportan tratamientos térmicos drásticos (3). Los principales constituyentes de las cenizas son el K y el P. Además, las concentraciones de Pb, Cd, Cu y Zn, se encuentran dentro de los límites prescritos aceptados por la Organización Mundial de la Salud, y el contenido de minerales en los carpóforos es más alto que el de muchas frutas y vegetales (12).

2.3. Pleurotus spp. y su potencial como controladores biológicos

Barron y Thorn (4), encontraron que los hongos que pudren la madera como *P. ostreatus*, *P. cornucopiae*, *P. cystidiosus*, *P. strigosus* y *P. subareolatus*, atacan y consumen nematodos. Probablemente, porque debido a los bajos niveles de nitrógeno disponible en la madera necesitan los nutrientes de

éstas como suplemento alimenticio.

Pleurotus spp. producen toxinas en sus glándulas secretoras espatuladas. Cuando los nematodos tocan las gotas de toxinas quedan inmóviles. Posteriormente, algunas hifas del hongo estimuladas por los productos excretados por el

hospedante inmóvil, se dirigen hacia los orificios del cuerpo del nematodo, para colonizarlo y digerirlo.

De igual forma, microcolonias de especies de bacterias del género *Agrobacterium* y *Pseudomonas* pueden ser atacadas y destruidas por el hongo *Pleurotus* spp.

2.4 Mercado mundial de Pleurotus spp.

De todos los países hispanoamericanos, España es el mayor productor de *Pleurotus* spp. En 1998 este país produjo aproximadamente 11.640 toneladas, alrededor del 1,5%

del total de la producción mundial (49). Es previsible que la producción de *Pleurotus* spp. en todo el mundo y especialmente en los países hispanoamericanos, continuará

incrementándose debido a la relativa facilidad de su producción y porque representa una alternativa alimenticia para el autoconsumo y para la venta (49).

3. CULTIVO DE *Pleurotus* spp. EN RESIDUOS AGRÍCOLAS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

El proceso de cultivo de los hongos ostra conocidos popularmente como “orellanas”, en los subproductos agrícolas generados en la

zona cafetera, incluye varias etapas: la producción de la semilla de los hongos, la formulación y adecuación de los sustratos de cultivo, las

fases de inoculación, incubación y fructificación, y el manejo de cosecha y postcosecha de los hongos producidos.

3.1. Producción de la semilla

La semilla o “blanco” de los hongos comestibles se refiere, para el caso de *Pleurotus* spp., a la fase micelial utilizada para inocular los sustratos.

La producción de semilla es una actividad compleja, por lo que se recomienda conseguirla con proveedores comerciales que certifiquen su calidad.

En el caso de pequeños productores, la preparación de la semilla puede hacerse en su propia casa, después de un curso de capacitación y acondicionando una habitación, donde se tomen todas las precauciones para mantener un ambiente higiénico (35).

Las cepas de *Pleurotus* spp que forman parte de la colección de hongos comestibles y medicinales de Cenicafe se encuentran criopreservadas en nitrógeno líquido para mantener su viabilidad y potencial productivo (Figura 7). El mantenimiento del material biológico es un paso crítico para la producción consistente de semilla de buena calidad.

A partir de los cultivos puros conservados en nitrógeno líquido pueden obtenerse cultivos en tubos de ensayo que contengan el medio nutritivo Papa Dextrosa Agar (PDA). En este procedimiento

Figura 7
Material biológico de *Pleurotus* spp. Conservado en condiciones de frío.



se llena el 50% del volumen de cada tubo con el medio de cultivo caliente. Los tubos con el agar se esterilizan en una autoclave a 121°C (Figura 8) y se dejan enfriar en posición inclinada para

aumentar la superficie de contacto agar - micelio (“pico de flauta”). Cuando el medio de cultivo se ha solidificado se realiza la siembra inoculando el micelio puro.



Figura 8
Autoclave pequeña para la producción de semilla de hongos.

El medio de cultivo debe prepararse siguiendo las instrucciones de la casa comercial y utilizando agua estéril.

La siembra del micelio debe realizarse en una cámara de flujo laminar o en su defecto, en un cuarto cerrado completamente, limpio y desinfectado, junto a mecheros de alcohol. Para limpiar los cuartos y las áreas de trabajo se utilizan el hipoclorito de sodio a una concentración del 10% a partir de límpido comercial (100 ml de límpido comercial + 900 ml de agua limpia) y cloruro de benzalconio al 5% (50 gramos del producto comercial se disuelven en 1 litro de agua de grifo). En lugar de límpido puede usarse alcohol del 70° (alcohol antiséptico comercial).

Cuando el micelio invade el medio de cultivo se conserva el

tubo mediante refrigeración, por un tiempo máximo de 3 meses, al cabo de los cuales es necesario “repicar” y pasar el micelio a otro tubo de ensayo con medio nutritivo fresco. Este tipo de conservación del material biológico recibe el nombre de transferencia seriada y es recomendable que no se realicen más de 6 repiques por tubo de ensayo colonizado por el micelio puro.

Una vez agotado este tiempo es necesario iniciar de nuevo el cultivo con material crioconservado o aislado a partir de un carpóforo sano y de excelente calidad (de buen tamaño, forma y color). El carpóforo se lava con agua limpia y con la ayuda de unas pinzas esterilizadas se toman fragmentos del píleo y se sumergen en una solución de límpido al 25% (25 ml de límpido comercial + 75 ml de

agua estéril) durante 5 minutos. Los fragmentos del píleo se colocan en cajas de petri con el medio nutritivo Agar Extracto de Malta (EMA) (Figura 9).

A partir de las cepas conservadas en los tubos de ensayo, se multiplica el micelio en botellas planas (como las que se utilizan para la producción artesanal del hongo *Beauveria bassiana*) que contienen como medio de cultivo Agar Extracto de Malta (EMA). Cuando el medio está listo se adicionan por botella 60 ml de medio nutritivo caliente y se tapan las botellas con un tapón de algodón, se esteriliza el material, se enfría en posición horizontal y se siembra con el micelio contenido en los tubos de ensayo (un tubo contiene material para sembrar 10 botellas planas). Para la siembra debe utilizarse una cámara de flujo laminar o en su defecto adecuar un lugar cerrado y desinfectado

Figura 9
Cepas de *Pleurotus* spp. conservadas por transferencia seriada en PDA y EMA.



(como se indicó anteriormente) (Figura 10). Las botellas inoculadas se incuban en un sitio oscuro, cerrado y completamente desinfectado.

Los utensilios empleados en la multiplicación del micelio y la preparación de la semilla madre y de siembra deben estar esterilizados. Para el control de hongos y bacterias, en el cuarto de siembra deben realizarse aspersiones con formol comercial al 0,3% en volumen (3 ml de formol comercial y se completan con un litro de agua del grifo).



Figura 10

Multiplicación del micelio de *Pleurotus* spp. en botellas planas.

Diariamente debe monitorearse el crecimiento micelial en los tubos y en las botellas, retirar el material contaminado y esterilizarlo para su disposición final. De esta manera, se evitará la contaminación cruzada y el riesgo de enfermedades respiratorias debidas a las esporas de los hongos contaminantes.

Cuando la invasión micelial esté entre el 90 y 100% sobre los

medios de cultivo, deben refrigerarse las botellas durante máximo 3 meses, para emplearlas en la preparación de la semilla primaria.

El micelio contenido en las botellas planas se multiplica en granos de cereal (trigo, mijo, sorgo, cebada, centeno, maíz o arroz), para conformar la semilla madre o semilla primaria, la cual es usada para preparar la semilla de siembra o inóculo

secundario, también llamada semilla comercial.

Esta semilla se prepara en frascos de vidrio estériles de boca ancha, con tapa metálica a la cual se le hace un agujero con una broca en la parte central. Este hueco se sella con algodón para permitir el intercambio gaseoso. Los frascos se llenan en sus $\frac{3}{4}$ partes con el grano de cereal hidratado a una humedad del 45% (Figura 11).



Figura 11

Semilla madre o primaria de *Pleurotus* spp.

Los cereales empleados para la producción de semilla comercial presentan una humedad promedio del 12%; para hidratarlos hasta la humedad requerida, es necesario lavar los granos hasta retirar el material flotante, escurrirlos y luego adicionarles 0,5 litros de agua/kg de grano inicial y colocarlos en un recipiente al fuego hasta eliminar toda el agua.

Después de llenar los frascos con el cereal, éstos se envuelven en papel Kraft y se esterilizan. El tiempo de esterilización depende del peso del material por esterilizar. En autoclaves pequeñas de 20 litros y un peso del sustrato entre 4,5 y 5 kg, es suficiente un tiempo de esterilización de 30 minutos a 121°C.

Una vez esterilizado el cereal se ponen a enfriar los frascos en mesones desinfectados. Un día antes de la inoculación deben retirarse del refrigerador las

botellas que contienen el micelio del hongo y dejarse a temperatura ambiente.

Para iniciar el proceso de inoculación se divide el agar de la botella plana en 8 trozos (material para inocular 8 frascos), y cada trozo se corta en 10 nuevos trozos utilizando un asa esterilizada. Cada trozo del material se adiciona al cereal. Finalmente, los frascos se incuban en un sitio oscuro, seco y desinfectado.

Es necesario evaluar diariamente el crecimiento micelial en la semilla madre, y retirar el material contaminado el cual puede llevarse a los lombricultivos para evitar con ello la contaminación del cultivo de hongos. Cuando la invasión del micelio esté entre el 95 y 100% se refrigera la semilla.

El paso siguiente es preparar la semilla de siembra, la cual se

utiliza para la inoculación de los sustratos. Para la producción de la semilla se utilizan bolsas de polipropileno termoresistentes de 20 cm de ancho x 50 cm de largo y 0,20 cm de espesor, con capacidad de 1 kg. En cada bolsa se adiciona 1 kg de cereal hidratado al 45% de humedad, en el extremo superior de la bolsa se coloca un anillo de PVC de 3/4" de diámetro y 0,5 cm de longitud para sostener un tapón de algodón que permite el intercambio gaseoso necesario para el desarrollo micelial.

Las bolsas se acomodan enrollando el extremo superior hasta la altura que ocupa el cereal; de esta forma se evita que el algodón se humedezca y se convierta en un punto potencial de contaminación. Este material también debe esterilizarse en una autoclave a 121°C.

Cuando ya se encuentra esterilizado el cereal, se enfrían las bolsas para inocularlas con la semilla madre (100 gramos de semilla madre por bolsa de semilla de siembra).

Cuando la invasión del micelio esté entre el 95 y 100% deben refrigerarse las bolsas y utilizarse como máximo en los 15 días siguientes (Figura 12).

En la medida en que la semilla envejece, la tasa de crecimiento del micelio disminuye; por ello, los sustratos inoculados con semillas "viejas" son más propensos a la contaminación por hongos competidores.

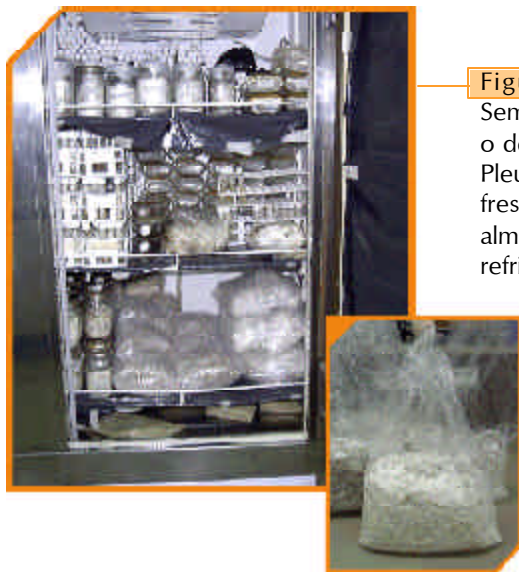


Figura 12
Semilla comercial o de siembra de *Pleurotus* spp., fresca y almacenada bajo refrigeración.

3.2. Selección y adecuación de los sustratos

Para elegir el material más adecuado como sustrato para el cultivo de hongos comestibles deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones (30):

- Que haya disponibilidad suficiente y continua.
- Las características físico-químicas.
- La regularidad en su composición físico-química.
- Un precio de adquisición ventajoso.
- Localización fácil y cercana.
- Material fácilmente transportable y manejable.

El cultivo de *Pleurotus* spp. no requiere un sustrato en composte para su desarrollo adecuado pero puede crecer en sustratos obtenidos de compostaje aeróbico (7). Las especies de *Pleurotus* crecen en sustratos lignocelulósicos o mezclas de ellos pretratados térmicamente, humectados hasta el 70% y con pH ligeramente ácido.

Los materiales utilizados como sustratos deben acondicionarse de tal forma que tengan la humedad y las características

físico-químicas adecuadas para el óptimo crecimiento y desarrollo del hongo comestible. Existen varios métodos de preparación de los sustratos (23), entre los cuales se encuentran:

El método A.G. de GERBER

Consiste en el empleo exclusivo de la paja dura de trigo, cortada en trozos pequeños. La paja se remoja continuamente con agua a 95°C durante media hora con el fin de ablandar el material y obtener una humedad media del 75%. Cuando la paja llega a una temperatura de 30°C se inocula con la semilla de siembra (micelio del hongo).

El Método de Zadrazil y Schneidereit.

Consiste en la utilización de varios tipos de pajas y de las mezclas de pajas y tusas de maíz, ajustados con carbonato de calcio, yeso y viruta de madera de álamo y algunos componentes proteínicos.

Para el cultivo de *Pleurotus*, los sustratos se someten generalmente a una semi-esterilización con inyección de vapor durante varias horas, para mantener la temperatura entre 70 y 80°C, y eliminar la fauna y

la flora parásita o competidora. Posteriormente, el material se enfría hasta que llegue a una temperatura entre los 25 y los 30°C, para hacer la inoculación con la semilla de siembra.

Algunos tipos de esterilización o pasteurización propuestos por Laborde et al., (23) para el cultivo del hongo *Pleurotus* son:

- **Autoclavado:** Después de esterilización a 121°C, el sustrato se inocula en condiciones estériles en bolsas plásticas cerradas. Estas bolsas se abren después de la invasión micelial para permitir la fructificación.
- **Autoclavado e inoculación con microorganismos termófilos:** Después de la esterilización a 121°C, el sustrato se inocula con organismos termófilos y con la semilla de *Pleurotus* spp.
- **Calentamiento rápido del sustrato con vapor entre 80 y 100°C, durante algunas horas:** Enfriamiento del sustrato y la inoculación en bolsas plásticas cerradas.
- **Sistema NADASI:** Pasteurización a 72°C durante 4 a 5 días.

- **Pasteurización:** El sustrato se trata térmicamente al vapor, durante varios días, a 60°C.

El Método de LELLEY. (Fermentación anaerobia).

Para la fermentación anaerobia o en frío los materiales deben picarse finamente entre 2 y 5cm, y retener cerca del 70% de humedad. El contenido de nitrógeno del material puede estar entre el 0,5 y el 1,5%. Si el contenido de nitrógeno es menor, los rendimientos pueden ser escasos y con un contenido mayor, la fermentación puede llevar a la putrefacción del material.

El principio bioquímico de la operación se basa en que todos estos materiales al ser sumergidos en agua sufren una fermentación anaerobia por acción de las bacterias lácticas, principalmente cocos, presentes de forma natural. El proceso de fermentación comienza espontáneamente, entre los 12 y los 30°C, y la acción metabólica de las bacterias elimina los azúcares, impidiendo que posteriormente pueda tener lugar el desarrollo de hongos competidores como *Trichoderma* spp. y *Penicillium* spp., lo cual facilita la acción de las enzimas de los hongos comestibles (celulasas, polifenoloxidasas, y otras más) sobre el sustrato (30).

Este método, se ha utilizado en Cenicafé para el cultivo de

hongos comestibles. El proceso de fermentación del sustrato es el siguiente: El primer paso en la preparación del sustrato, una vez establecida la formulación y calculadas las cantidades de materias primas necesarias, consiste en la adecuación de los materiales en cuanto al tamaño de las partículas y su forma de almacenamiento. Es recomendable un tamaño de partícula de los sustratos entre 0,5 y 2 cm (41), debido a que con éste se han obtenido los mejores rendimientos en el cultivo.

La pulpa de café tiene un tamaño de partícula promedio entre 1 y 2 cm, que es un tamaño apropiado para la conformación del sustrato (40). Ésta debe utilizarse fresca, con

menos de 2 días de obtenida en el beneficiadero, o ensilada como se indica en el Avance Técnico No. 313 “Ensilaje de la pulpa de café” y proveniente de un despulpado y un transporte sin agua (1).

Si se utilizan como sustrato tallos de cafetos es necesario molerlos para obtener un tamaño de partícula inferior a 2 cm, lo cual se logra en un desintegrador – picador (Figura 13).

Los residuos de los cultivos de plátano, caña, maíz y los granos de café deteriorados deben molerse para obtener tamaños de partícula inferiores a 2 cm. Materiales como el cisco, la película plateada y la borra de café pueden utilizarse con el



Figura 13
Desintegrador – Picador para residuos agrícolas.

mismo tamaño de partícula con el que se obtienen.

El siguiente paso consiste en pesar las materias primas y continuar con la mezcla de los materiales sobre un piso de cemento o sobre un plástico si

se dispone de piso en tierra. Debe extenderse primero el subproducto de la formulación que esté en mayor cantidad hasta finalizar con el material de menor cantidad. La mezcla se realiza con una pala y el material debe quedar

homogéneo. Luego se empaqueta en costales de fibra limpios, hasta las $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad (Figuras 14, 15, 16 y 17). No es recomendable utilizar costales de fique porque se dificulta su limpieza después de la fermentación.



Figura 14
Pesaje de las materias primas que conforman el sustrato.



Figura 15
Disposición de las materias primas.



Figura 16
Sustrato homogéneo y listo para su empaque.



Figura 17
Sustrato empacado en costales de fibra plástica.

Los costales que contienen el sustrato se colocan dentro de una caneca plástica tapada para evitar la proliferación de insectos y se les adiciona peso para evitar que floten (puede ser un ladrillo o una piedra, limpios) y se agrega agua de grifo hasta cubrirlos. Se recomienda utilizar 11 litros de agua/kg de sustrato seco.

La fermentación anaerobia de los sustratos que contienen pulpa de café se realiza durante 2 semanas. Los otros solamente 1 semana (Figura 18). Terminada la fermentación deben retirarse las natas que se forman sobre la superficie del agua utilizando un cedazo o tela de filtro, hasta que el agua no contenga a simple vista sólidos en suspensión. Posteriormente, se retira el costal de la caneca y se cuelga de forma que escurra libremente durante la noche (Figura 19). Para la pulpa de café sola se sigue el procedimiento descrito por Rodríguez y Gómez (42).

Al día siguiente, se pesa el costal para determinar la cantidad de semilla de siembra que debe utilizarse. Luego se asperja homogéneamente utilizando un atomizador manual, con una solución de vanodine al 0,5% (utilizar 5 ml de producto comercial en 995 ml de agua de grifo) y se lleva al cuarto de siembra, previamente desinfectado.



Figura 18

Fermentación anaerobia de los sustratos.



Figura 19

Escurrido de los costales con el sustrato ya adaptado.

3.3. Inoculación de los sustratos

La siembra se realiza en un lugar limpio que esté aislado y que no tenga corrientes de aire en su interior. Deben utilizarse delantal, gorro y guantes de látex o cirugía, limpios. Dos días antes de la inoculación debe retirarse la semilla de la

nevera y desmoronarse dentro de la bolsa para reactivarla.

Para esta etapa se recomienda colocar sobre la mesa de trabajo un plástico a manera de mantel, el cual debe estar desinfectado con alcohol al 70%, y extender

allí el sustrato contenido en los costales. Luego se adiciona la semilla al sustrato y se mezcla uniformemente (Figura 20). La tasa de inoculación empleada es del 3% (30 gramos de semilla/kg de sustrato de siembra).



Figura 20
Mezcla de la semilla y el sustrato.



Figura 21
Empaque en bolsas negras de polietileno del sustrato sembrado.

3.4. Etapa de incubación

La incubación del material debe realizarse en un cuarto limpio, previamente desinfectado con una solución de formol comercial al 0,3%. En el cuarto es necesario espolvorear carbonato de calcio en el piso y en los anaqueles o estanterías (metálicas, plásticas o en madera), para reducir los riesgos de contaminación por hongos e insectos.

Los cambios de aire para la etapa de incubación deben estar a razón de 100 m³ de aire fresco/hora por cada tonelada de sustrato incubado. Para ello es necesario conocer la cantidad de aire que mueve el ventilador y la cantidad de sustrato en incubación. Para una buena distribución del aire en el cuarto de incubación es recomendable utilizar un ducto fabricado en plástico tubular que atraviese el cuarto por la parte central superior y que esté perforado a lo largo del mismo.

Para cultivos pequeños, donde el volumen ocupado por las bolsas sea menor que un 5%

del volumen del cuarto de incubación, éste debe estar dotado de una ventana para ventilación que permita el intercambio natural del aire y protegida con una malla mosquitera para impedir la entrada de los insectos. La renovación del aire se consigue abriendo la ventana de 2 a 3 veces al día durante 1 hora.

Deben voltearse, de arriba a abajo las bolsas cada 8 días, para distribuir homogé-

neamente la humedad. La temperatura óptima de incubación para *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* y *P. sajor-caju*, es de 25°C.

Cuando el material esté completamente colonizado, es decir, cuando se ve una masa compacta de superficie homogénea blanco-algodonosa (Figura 22) o cuando se inicie la formación de los primordios del hongo, se da inicio a la fructificación.



Figura 22

Sustrato colonizado por el micelio de *Pleurotus* spp.

3.5. Etapa de fructificación

La etapa de fructificación (formación de los cuerpos reproductores) puede llevarse a cabo en el mismo cuarto donde se realizó la incubación, siempre y cuando se disponga en éste de

los elementos necesarios para suministrar las condiciones de ventilación, temperatura, humedad y luz que requieren los primordios para su desarrollo. En esta etapa deben realizarse

ajustes ambientales para inducir al micelio a formar cuerpos fructíferos (49).

Los cuartos de fructificación utilizados en el cultivo de

hongos comestibles son muy diferentes. Cuando se establece un cultivo con fines comerciales es recomendable documentarse apropiadamente sobre las diferentes técnicas existentes, para seleccionar la que más se ajuste a las posibilidades económicas del productor.

Muchas de las construcciones existentes en las fincas pueden ser adaptadas como áreas de incubación y fructificación (Figura 23).

En los países del trópico, como Colombia, las temperaturas medias que se alcanzan en los períodos secos y lluviosos permiten el cultivo de los hongos en construcciones sin aislamientos térmicos, siempre y cuando el productor tenga presente las necesidades físicas de la cepa con la cual va a trabajar (luminosidad, temperatura, humedad relativa, ventilación) y la oferta ambiental del sitio seleccionado.

Dentro de las construcciones sin aislamiento térmico se encuentran 2 tipos:

Construcciones pesadas

Fabricadas en ladrillo o placas de fibrocemento (Figura 24), con techos en fibrocemento. Estas construcciones deben utilizarse, necesariamente en climas con temperaturas medias



Figura 23

Construcciones existentes en las fincas y adaptadas como cuartos de incubación y fructificación.



Figura 24

Construcciones en placas de fibrocemento.

superiores a los 27°C. Bajo estas temperaturas se requiere además, sistemas de ventilación forzada (ventiladores) para proveer al cultivo aire fresco en las etapas de incubación y producción. La ventilación nocturna disminuye la temperatura dentro del salón de cultivo y amortigua las altas temperaturas diurnas.

Este tipo de construcción ayuda a conservar la humedad relativa al interior de los salones, debido a la poca evaporación, lo que permite disminuir la temperatura mediante el riego constante al piso y a las paredes.

Construcciones livianas

Fabricadas en guadua, con paredes y techos que pueden ser de esterilla (Figura 25), plástico o telas impermeables. Para la construcción de los cuartos de incubación y fructificación con plástico, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- En zonas cálidas, con temperaturas medias mayores a 23°C, los salones de incubación y fructificación deben ser de plástico blanco (para la reflexión de la luz) y deben poseer aislamiento térmico, para lo cual se colocan esteras o una capa de paja seca en el techo.



Figura 25

Casetas de fructificación construidas en plástico y en esterilla.

- En zonas frías cuya temperatura media oscila entre 12 y 18°C, los salones de incubación pueden construirse en plástico negro y los de fructificación en plástico transparente, y no requieren de aislamiento térmico.

Los cuartos deben tener piso de cemento para mantenerlo húmedo y ventilación natural que se logra disponiendo de ventanillas inferiores protegidas con malla mosquitera que permiten la entrada del aire y evitan la entrada de insectos, y un falso techo para que el aire salga. También pueden utilizarse ventiladores.

En la Tabla 1, se presentan diferentes tipos de cons-

trucciones recomendadas para el cultivo y producción de hongos de acuerdo con la temperatura media predominante en el lugar.

El tamaño de los cuartos de fructificación para el cultivo de *Pleurotus*, debe conservar una relación de 1 m³ de volumen de cuarto por cada 34,7 kg de sustrato de fructificación. Si se dispone de ventiladores que permitan la renovación del aire, esta relación puede incrementarse hasta 50 kg/m³. Por ejemplo, para 10 toneladas de sustrato de siembra, que en promedio pueden producir 1 tonelada de hongos frescos, se requiere un volumen de cuarto de 288 m³ (1 m³/34,7 kg x 10.000 kg), el cual se obtiene con una altura de 3,5 m y un área de 82 m².

Tabla 1. Tipo de construcciones recomendadas para el cultivo de *Pleurotus* spp.

Temperatura media	12-18°C	18-22°C	22-27°C	27-32°C
Tipo de construcción recomendada	Construcción liviana	Construcción liviana	Construcción combinada o semipesada	Construcción pesada
Cuarto de incubación	Utilizar plástico negro	Utilizar plástico Negro	Utilizar plástico blanco	Utilizar paredes de ladrillo o fibrocemento
Cuarto de Fructificación	Utilizar plástico transparente	Utilizar plástico transparente combinado con esterilla y techos con esteras para aislamiento	Utilizar ladrillo combinado con plástico y techo de fibrocemento	Paredes de ladrillo o fibrocemento y techo aislado con esteras o pintado de color plateado para reflexión de la luz

Fuente: Jaramila (22)

La humedad relativa del cuarto de fructificación debe estar entre el 80 y el 95%, dependiendo del desarrollo del cuerpo fructífero (por lo que se recomienda tener un termohigrómetro en el cuarto de cultivo para su monitoreo). La humedad en el cuarto puede ser ajustada mediante el riego con agua, durante algunas horas del día y así evitar que el sustrato se reseque.

Las bolsas completamente colonizadas por el micelio deben romperse por las costuras laterales y doblarse el plástico sin retirarlo en su totalidad, para dejar a plena exposición el sustrato. Inicialmente, el sustrato, el piso y las paredes del cuarto se remojan con agua en forma de neblina.

Posteriormente, los riegos pueden hacerse como pulverizaciones al ambiente o directamente hacia el sustrato.

Debe proveerse un flujo suave de agua, sin mucha presión y en gotas muy pequeñas para no dañar los primordios. Se recomienda aplicar el agua hacia arriba, en forma de arco, para que las gotas se depositen suavemente sobre la superficie del sustrato (49).

Bajo condiciones adecuadas de humedad el píleo (sombrero) de los primordios presenta un aspecto suave, terso, carnoso, limpio y brillante. No es aconsejable regar el cultivo cuando los cuerpos fructíferos están formados, por que se disminuye la calidad de los mismos. Cuando se mojan demasiado, los cuerpos fructíferos presentan un aspecto blando y amarillento, debido generalmente a contaminación por bacterias (49).

En la Tabla 2, se describen las necesidades de ventilación, humedad y CO₂ en los cultivos

de *Pleurotus* durante las etapas de incubación y fructificación.

Dependiendo de la cepa las concentraciones de CO₂ superiores a 700 ppm pueden producir cambios en la morfología del hongo o inhibir la fructificación (49). Si la ventilación es pobre durante la aparición de los primordios y durante el desarrollo del hongo, se acumula CO₂ que propicia la contaminación por hongos verdes. Por el contrario, una excesiva ventilación puede evaporar el agua tanto en el sustrato como en los hongos, resecaando el sustrato y los cuerpos fructíferos que se tornan de color marrón.

La luz promueve la fructificación y puede producir variaciones en la pigmentación. *Pleurotus* spp. requieren luz de longitud de onda corta (150-200 lux). La luz diurna suele ser suficiente para obtener buenas

Tabla 2. Necesidades de ventilación y humedad en el cultivo de *Pleurotus* spp.

Necesidad Etapa	Incubación	Producción	Post-producción (Aseo y desinfección)
Volumen de aire	100 m ³ /hora por cada tonelada de sustrato de siembra. Para cultivos cuyo volumen de sustrato sea < 5% el volumen del salón (2-3 veces/día y hora/vez)	En cosecha entre 150 a 500 m ³ /hora y entre cosechas de 60 a 150 m ³ /hora por cada tonelada de sustrato de fructificación. Para cultivos cuyo volumen de sustrato sea < 5% el volumen del salón (10-15 veces/día y hora/vez)	2 días de ventilación continua
Gas Carbónico (CO ₂)	Alto	Alto antes de cada cosecha	No se requiere
Humedad Relativa del Ambiente	50%	80-100%	30-40%
Riego	No se requiere	Constante en pisos y paredes	No se requiere

Fuente: Asociados de Calles y Demas (23).

fructificaciones (49). En ausencia de luz o en condiciones deficientes de ésta se puede inhibir la fructificación o reducir de forma significativa la cosecha.

La temperatura óptima para el desarrollo del cuerpo reproductor está entre 15 y 21°C para *P. ostreatus*, y entre

18 y 24°C para *P. pulmonarius* y *P. sajor caju* (Figuras 26, 27, 28 y 29). Cuando la temperatura del cuarto sube por encima de la temperatura óptima de desarrollo del cuerpo fructífero, los hongos desarrollan estipes largos. Para facilitar la iniciación

de la fructificación es preciso reducir la frecuencia de ventilación con lo cual se aumenta la concentración de CO₂ y la humedad relativa del aire entre el 90 y 95%. Esta etapa dura alrededor de 3 a 5 días.



Figura 26
Carpóforos de *P. ostreatus*
sobre tallo + pulpa de café



Figura 27
Brotos de *P. sajor caju* y *P. pulmonarius* en subproductos del café.



Figura 28
Carpóforos de *P. pulmonarius* sobre tallo + pulpa de café.



Figura 29
Carpóforos de *P. sajor caju* sobre granos deteriorados + pulpa de café.

Al aparecer los primordios la humedad relativa del cuarto de fructificación debe disminuirse a 85% - 90% y aumentarse la frecuencia de riego dependiendo de la tasa de fructificación. Durante el período de cosecha una humedad relativa entre el 80 y el 85% garantiza una calidad satisfactoria en el hongo. Una humedad relativa superior al 90% puede retardar el crecimiento y causar malformación del hongo.

El tiempo de duración de la etapa de desarrollo del cuerpo reproductor está entre 4 y 8 días para *P. pulmonarius* (Figura 30) y, entre 3 y 5 días para *P. ostreatus* y *P. sajor caju* (Figura 31).

Durante la cosecha es también preciso renovar el aire. Para cultivos pequeños en donde el volumen ocupado por las bolsas sea inferior al 5% del volumen del cuarto, debe renovarse el aire dejando las ventanas abiertas durante el día y cerrándolas en la noche.

Para cultivos grandes la renovación del aire durante la cosecha debe hacerse, a razón de 150 a 500 m³/tonelada de sustrato/hora y entre 60 y 150 m³/tonelada de sustrato/hora, entre cosechas (24).

La cosecha de *Pleurotus* spp. dura aproximadamente 45 días para *P. pulmonarius*, repartida



Figura 30
Carpóforos de *P. pulmonarius* sobre borra de café.



Figura 31
Carpóforos de *P. sajor caju* sobre bagazo de caña.

en 2 recolecciones separadas 14 días, y para *P. ostreatus* y *P. sajor caju* es de 50 días, repartida en 3 recolecciones cada 10 días.

Después de realizar las recolecciones, el sustrato deja de remojarse y se disminuye la frecuencia de ventilación con el fin de incrementar el gas carbónico y propiciar la formación de nuevos primordios. Para ello se riega el sustrato y las estanterías, y se previene la pérdida de humedad

en el bloque tapándolo con el plástico de la bolsa que permanecía enrollado. Cuando aparezcan los primordios se remueve el plástico y se abren las ventanas de ventilación por 30 a 40 minutos para permitir el intercambio de aire. Después de ventilar, se eleva la humedad del cuarto rociando agua en los pasillos y en el ambiente.

Después de hacer los riegos debe ventilarse el cuarto de producción lo suficiente hasta eliminar todas las gotas de agua

presentes en la superficie del hongo, el agua en los carpóforos hace que su textura sea demasiado blanda y en el sustrato puede propiciar el desarrollo de la mancha

bacteriana. De igual forma, si las condiciones de humedad relativa del sustrato y del cuarto de producción son bajas se limita el crecimiento del hongo, debido a la falta de agua.

Las principales causas para que los hongos jóvenes se marchiten durante el período de cosecha incluyen riego excesivo, temperaturas altas y deficiente ventilación.

3.6. Etapa de cosecha

Los hongos deben cosecharse cuando el píleo esté casi plano, momento en el cual el hongo ha alcanzado su máximo crecimiento (Figuras 32, 33 y 34). La cosecha puede hacerse 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.



Figura 33

Carpóforos de *P. sajor caju* sobre pulpa de café.



Figura 32

Carpóforos de *P. sajor caju* sobre cisco + película plateada.



Figura 34

Carpóforos de *P. sajor caju* sobre borra + tamo de arroz.

Cuando los hongos son recolectados por torsión se les debe retirar la parte inferior del estípite, ya que éste contiene restos del sustrato. Para los hongos recolectados utilizando tijeras o cuchillo es necesario

retirar del sustrato los restos del pie ya que sobre estos pueden desarrollarse hongos contaminantes, dada su humedad y su composición.

Después de la cosecha es esencial evitar almacenar los hongos en

un ambiente húmedo, caluroso y sucio. Los hongos cosechados deben consumirse frescos o someterse a procesos de refrigeración, deshidratación o conservación en salmuera para alargar su tiempo de duración.

3.7. Manejo postcosecha

Para prolongar la vida de los hongos para su comercialización pueden refrigerarse entre 1 y 4°C. No es aconsejable lavar los hongos del género *Pleurotus* para su empaque, debido a que el agua puede provocar un deterioro más rápido.

En investigaciones realizadas en Cenicafé con las 3 cepas de *Pleurotus* spp., se encontró que cuando se empacan los hongos en bandejas de icopor cubiertas con plástico cristaflex y se refrigeran (Figura 35), la vida de anaquel para estos hongos es de 10 días conservando intacta sus características físicas.

También pueden conservarse en bolsas de papel Kraft y refrigerarse (Figura 36), y en aproximadamente 10 días alcanzan un estado de deshidratación que alarga su tiempo de almacenamiento, o pueden secarse al sol o con aire caliente durante 2 o 3 días. El secado es comúnmente utilizado como una técnica de conservación cuando el mercado es muy lejano y cuando los hongos son utilizados como ingredientes en otros productos procesados (49).



Figura 35

Pleurotus spp. empacados para mercadeo.



Figura 36

Pleurotus spp. conservado en bolsa de papel y refrigerado.

Para realizar un adecuado secado deben colocarse los cuerpos fructíferos con la base del carpóforo hacia abajo y sobre una malla que permita la circulación del aire. La temperatura del aire de secado debe estar en un rango entre

38 y 43°C en una primera etapa (Figura 37). Para la segunda etapa entre 77 y 82°C para obtener un color óptimo. El contenido final de humedad no debe ser menor del 4%, por que tiende a endurecer los hongos y pierden sabor (49). Si

se almacenan en un recipiente sellado los hongos deshidratados pueden permanecer en buen estado y aptos para el consumo durante mucho tiempo (Figura 38).

Para prolongar el tiempo de almacenamiento puede utilizarse la conservación en salmuera.

En Cenicafé se realizaron ensayos de conservación en salmuera de las cepas de *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* y *P. sajor caju*, cultivados sobre subproductos del café. Los hongos se recolectaron manualmente, carpóforos maduros y sanos de las diferentes cepas, se les retiró el pie, se lavaron y sometieron a escaldado en una solución al 0,1% (peso/volumen) de ácido cítrico y agua a una temperatura de 96°C durante 8 minutos (Figura 39). Después se escurrieron y se envasaron en frascos de vidrio, adicionándoles hasta llenar el frasco, una solución de salmuera ácida conformada por 2,5% de sal y 0,15% de ácido cítrico (concentración en peso/volumen) a temperatura de ebullición. Posteriormente se eliminó el aire del envase, se taparon y esterilizaron a 121°C durante 15 minutos (Figura 40).



Figura 37
Hongos *Pleurotus* spp. en proceso de secado.



Figura 38
Hongos *Pleurotus* spp. deshidratados y empacados.



Figura 39
Escaldado de hongos *Pleurotus* spp.



Figura 40
Conservas de hongos *Pleurotus* spp.

3.8 Evaluación de la producción de *Pleurotus* spp. sobre diversos sustratos

En Cenicafé se evaluó la producción del hongo *Pleurotus sajor caju* sobre diversas formulaciones de sustratos. Esta cepa se utilizó por su capacidad para crecer en una gran variedad de residuos agrícolas y un amplio

rango de temperaturas, superior a las mostradas por las cepas de *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*.

Este cultivo se estableció en La Granja de Cenicafé, en Chinchiná (Caldas), ubicada a

5°00' de latitud norte y 75°36' de longitud oeste, a una altitud de 1.310 m, con una temperatura promedio anual de 21,7°C, una humedad relativa media del 80,5%, una precipitación anual de 1.971,8 mm, 214 días lluviosos en el

Tabla 3. Caracterización de los subproductos para el cultivo de *Pleurotus* spp.

Análisis (en peso seco)	Tipo de subproducto								
	Pulpa de café	Aserín de tallo de café	Borra de café	Granos deteriorados de café	Casco de café	Bagazo de caña	Película láteaca de café	Cascarilla de arroz	Hoja de plátano
Humedad (%)	78,56	14,20	60,01	9,81	11,85	6,85	16,10	10,11	26,96
Nitrógeno (%)	0,65	0,72	1,60	1,96	0,51	0,29	2,40	0,37	1,17
Proteína (%)	10,31	4,50	10,50	12,25	3,19	1,81	15,00	2,31	2,59
Carbohidratos (%)	7,61	3,55	0,61	4,78	3,40	12,65	6,00	19,75	6,19
Fibra (%)	13,15	64,54	40,77	23,84	2,34	3,71	Nd	52,18	Nd
Grasa (%)	2,17	0,49	26,32	13,39	0,27	0,64	Nd	0,31	Nd
HN (%)	66,76	27,03	22,10	45,05	90,70	61,19	Nd	25,45	Nd
P (%)	0,12	0,66	0,02	0,16	0,01	0,04	Nd	0,66	0,17
K (%)	2,71	0,37	0,08	1,54	0,22	0,08	Nd	0,10	2,50
Ca (%)	0,37	0,40	0,08	0,25	0,15	0,10	Nd	0,05	0,99
Mg (%)	0,10	0,05	0,01	3,16	0,05	0,09	Nd	0,05	0,24
Fe (ppm)	306	750	98	640	1140	500	Nd	123	87
Mn (ppm)	36	40	39	41	27	23	Nd	100	807
Zn (ppm)	18	10	10	29	24	80	Nd	13	12
Cu (ppm)	12	10	26	37	14	26	Nd	7	2
B (ppm)	23	13	5	11	13	12	Nd	6	17
pH	4,01	3,57	4,10	5,56	6,01	4,95	6,97	6,62	5,86

Nd: No detectable.

Nota: Todos los datos se expresan en café seco. Para el análisis de fibra se usó el método de Van Soest (1967). El análisis de nutrientes se realizó en el laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Universidad Nacional de Colombia. El análisis de nitrógeno se realizó en el laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Universidad Nacional de Colombia. El análisis de fibra se realizó en el laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Universidad Nacional de Colombia. El análisis de pH se realizó en el laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Universidad Nacional de Colombia.

Fuente: Rodríguez (15).

año y un brillo solar de 1.851,5 horas anuales (13).

Inicialmente, se seleccionaron los materiales para conformar los sustratos relacionando la disponibilidad, facilidad de almacenamiento y composición físico - química de los mismos. Ésta última característica permitió establecer la cantidad

de cada material para la elaboración del sustrato de siembra del hongo.

En la Tabla 3, se presentan los datos de la composición bromatológica y mineral de diferentes subproductos encontrados en la zona cafetera, que se evaluaron en Cenicafé para el cultivo de

hongos comestibles del género *Pleurotus*.

En la Tabla 4, se observan las formulaciones (mezclas de materiales) evaluadas en Cenicafé. La composición del sustrato se expresa en términos de contenido de materia seca, debido a que la humedad de las materias primas no siempre es la misma.

Tabla 4. Formulaciones evaluadas en el cultivo de *Pleurotus* spp.

Tipo de Subproducto	Formulación (% en materia seca)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Aserrín del tallo de café (C/N = 74)	48,5	48,5	-	-	-	-	-	-	-	-	97,0			
Pulpa de café fresca (C/N = 37)	48,5		64,7	48,5	48,5	32,1		48,5	48,5	60,0		100		
Borra de café (C/N = 13)	-	48,5	-	48,5	-	-	-	-	-	-				48,0
Casco de café (C/N = 105)	-	-	32,3	-	-	-	76,0	48,3	-	-				
Película plateada de café (C/N = 22)	-	-	-	-	-	-	21,0	-	-	-				
Café deteriorado (C/N = 27)	-	-	-	-	48,5	64,7	-	-	-	-				
Bagazo de caña (C/N = 167)	-	-	-	-	-	-	-	-	48,5	-			97,0	
Hoja de plátano (C/N = 40)										37,0				
Tarzo de arroz (C/N = 77)														36,0
Cascavilla de arroz (C/N = 121)														13,0
Carbonato de calcio	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Fuente: Rodríguez (2011).

-
-
-
-
-
-

En la Tabla 5, se establecen los de ellos en las diferentes Para la elaboración de la Tabla materiales a mezclar y la formulaciones, para obtener 5, se tuvieron en cuenta la cantidad necesaria de cada uno 100 kg de sustrato de siembra. humedad promedio con la

Tabla 5. Cantidad de material fresco necesario para conformar 100 kg de sustrato de siembra en diferentes formulaciones.

Tipo de subproducto	Formulación (kilogramos de materiales frescos)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Aserrín del tallo de café (Humedad = 15%)	19	40	-	-	-	-	-	-	-	-	59			
Pulpa de café fresca (Humedad = 80%)	80	-	97	73	77	54	-	86	66	93		160		
Pioma de café fresca (Humedad = 80%)	-	56	-	49	-	-	-	-	-	-				55
Cisco de café (Humedad = 1%)	-	-	11	-	-	-	33	20	-	-				
Forraje almidonado de café (Humedad = 17%)	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-				
Casaca de café seco (Humedad = 15%)					18	28								
Bajazo de caña (Humedad = 25%)	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-			29	
Huza de alfilero seca (Humedad = 30%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12				
Tallo de arroz (Humedad = 11%)														14
Cascarilla de arroz (Humedad = 11%)														5
Carbonato de calcio (Humedad = 0%)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Peso sustrato inicial (kg)	100	77	139	121	96	80	43	107	85	161	60	160	31	75
Humedad sustrato inicial (%)	65,9	54,0	72,3	71,7	67,6	77,5	10,0	66,4	67,4	71,3	14,3	80,0	74,0	54,1
Agua utilizada para la fermentación (litros)	365	167	315	137	360	177	425	160	107	300	565	175	250	210
Pérdidas durante la acecuación (% os)	27	7	32	20	34	30	25	32	26	33	12	37	12	7
Peso del sustrato fermentado (kg)	100	100	130	100	60	130	100	60	100	100	100	100	130	100

fuente: Rodríguez (20).

cual se obtienen los subproductos y las pérdidas de materia seca que ocurren durante la etapa de adecuación de los sustratos.

En la Tabla 6, se presentan las características de los sustratos de siembra y del agua residual, después de realizada la fermentación.

Para evaluar la producción de *Pleurotus* spp. en los diferentes sustratos se consideraron los parámetros de precocidad, eficiencia biológica media, rendimiento medio y pérdidas del proceso.

La precocidad se define como el tiempo que transcurre entre el día de la inoculación y el día en que aparecen los primeros carpóforos. Este parámetro permite conocer la duración del ciclo del cultivo.

La eficiencia biológica determina el potencial biológico de los sustratos para la producción de hongos. La eficiencia biológica es la media aritmética de la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato de las bolsas productivas, multiplicada por cien.

El rendimiento medio se determina mediante la

relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato de todas las bolsas sembradas, multiplicado por cien; y las pérdidas del proceso se calculan dividiendo el número de bolsas no productivas y el número total de bolsas inoculadas, multiplicado por cien. Estos 2 parámetros son importantes porque permiten determinar la rentabilidad de cultivo.

En la Tabla 7 y en las Figuras 41 y 42, se presentan el rendimiento medio, la eficiencia biológica media, la precocidad y las pérdidas, encontrados en el cultivo del hongo comestible *Pleurotus sajor caju* para las diferentes formulaciones evaluadas.

Tabla 6. Características del sustrato de siembra

Parámetro	Formulación													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Humedad sustrato (%)	76	68	79	76	79	76	71	76	80	80	55	80	80	67,5
pH del sustrato	5,4	6,2	5,4	5,3	5,1	5,4	7,4	5,1	5,6	5,0	6,4	5,1	6,7	5,4
C/N sustrato	45	46	41	32	29	28	59	49	52	34	75	31	171	44
Agua residual (litros) (Por cada 100 Kg. de sustrato de siembra)	350	320	335	310	330	340	340	375	255	270	313	230	175	110
pH agua residual	5,0	5,9	5,4	5,3	5,1	5,3	5,8	5,2	5,2	4,7	5,7	4,3	5,6	5,6
DQO agua residual (g/l)	19,9	2,8	24,7	19,8	20,3	15,2	3,5	19,8	21,8	57,3	2,8	36,9	8,1	9,6

Tabla 7. Resultados en el cultivo de Pleurotus sajor-caju.

Parámetro	Formulación													
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	12 ^a	13 ^a	14 ^{aa}
Rendimiento medio (%)	80,9	57,0	62,3	70,2	63,1	80,8	56,1	70,7	110,3	41,2	29,9	69,0	46,2	94,3
Eficiencia biológica media (%)	80,9	57,0	62,3	70,2	63,1	80,8	56,1	70,7	110,3	41,2	29,9	69,0	46,2	94,3
Precocidad (días)	18	27	23	24	27	27	21	16	20	30	30	27	30	37
Pérdidas de proceso (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: ^a Rodríguez (10), ^{aa} Varón (53).

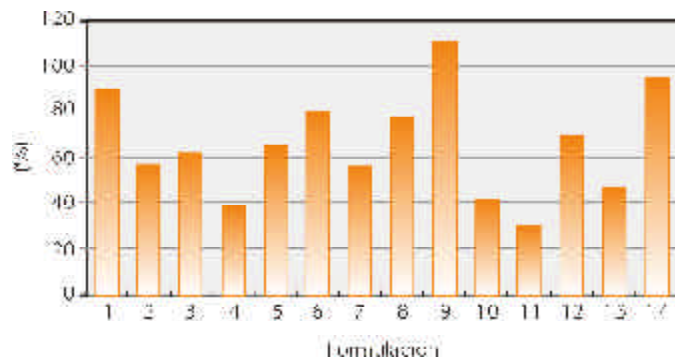
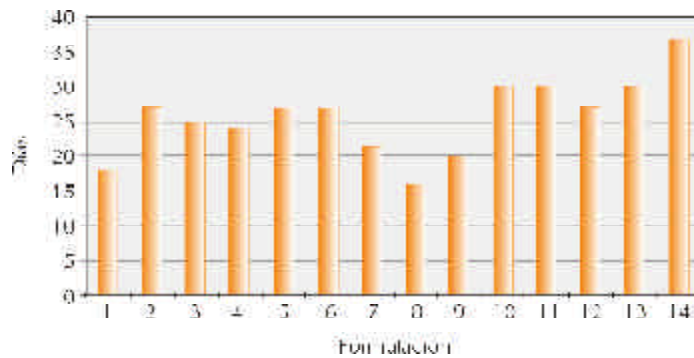


Figura 41

Rendimiento medio del Hongo Pleurotus sajor-caju en sustratos fermentados anaeróbicamente

Figura 42
Precocidad del Hongo Pleurotus sajor-caju en sustratos fermentados anaeróbicamente



De acuerdo con los resultados observados en la Tabla 7, los mayores rendimientos medios se alcanzaron con la formulación 9, constituida por pulpa de café y bagazo de caña, con un valor del 110,5%.

Con ninguna de las 14 formulaciones evaluadas hubo pérdidas de proceso, pues todas las unidades experimentales fueron productivas y no hubo contaminación; por tanto, los valores de la eficiencia biológica media y del rendimiento medio fueron idénticos.

Con la formulación 14, constituida por borra de café, tamo de arroz y cascarilla de arroz, se obtuvo un rendimiento medio del 94,5%.

Con la formulación 1, mezcla de aserrín del tallo de café y pulpa de café, se lograron rendimientos medios del 88,9%. Esta formulación es muy recomendada para los caficultores, dado que la pulpa de café y el aserrín del tallo son los 2 subproductos más abundantes del cultivo del café y de mayor asequibilidad en las fincas cafeteras. Aunque el aserrín del tallo del café y la pulpa pueden utilizarse como sustratos únicos en el cultivo de los hongos, el rendimiento alcanzado con el primero es bajo (29,8%, formulación 11) y con la pulpa, aunque es bueno (rendimiento del 69,8%, formulación 12), la metodología

de cultivo es más dispendiosa, por lo que es mejor hacer la mezcla, con la que se obtienen mejores rendimientos y se simplifica el manejo del sustrato.

Los rendimientos medios, alcanzados con las mezclas pulpa de café y granos deteriorados, formulaciones 5 y 6 fueron del 65,1 y 80,8%, los cuales son muy atractivos ya que ofrecen a los caficultores, una opción para el manejo y aprovechamiento de los granos de café deteriorados que no puedan ser comercializados por afectar la calidad del café.

El rendimiento alcanzado con el bagazo de caña (formulación 13) fue del 46,2%, con la pulpa del 69,8% y con la mezcla bagazo - pulpa del 110,5%.

De lo anterior se concluye que es mejor cultivar los hongos del género *Pleurotus* sobre mezclas, ya que éstas mejoran las condiciones físicas del sustrato. Además, para la mayoría de las formulaciones constituidas por mezclas se alcanzaron rendimientos medios superiores al 50%, que las hace económicamente factibles. Sin embargo, las formulaciones más económicas serán aquellas que combinen unos buenos rendimientos con una fácil consecución y transporte de las materias primas.

Por ejemplo, las formulaciones que involucran subproductos

de arroz y subproductos de café serán apropiadas para la zona del Tolima Grande, las formulaciones que involucran bagazo de caña para zonas cafeteras que tengan cultivo de caña y el mismo análisis se hace para las demás formulaciones. Pero, debe tenerse en cuenta que no todas las cepas de *Pleurotus* tienen la habilidad de fructificar sobre un determinado sustrato. En el caso del aserrín del tallo de café la cepa de *P. sajor-caju* tuvo un rendimiento del 29,8%, mientras que *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* tuvieron un crecimiento micelial pobre y no fructificaron.

En lo relacionado con la precocidad (rapidez de producción de los cuerpos fructíferos), las formulaciones que permitieron cosechar hongos en el menor tiempo fueron la 8 (que contenía pulpa + cisco), la 1 (aserrín de tallo de café + pulpa), la 9 (pulpa + bagazo de caña) y la 7 (cisco + película plateada) en un tiempo, medido a partir del momento de la siembra, de 16, 18, 20 y 21 días, respectivamente.

Hubo producción tardía con la 10 (pulpa + hoja de plátano), la 11 (pulpa de café) y la 13 (bagazo de caña) a los 30 días, y la 14 (borra + tamo + cascarilla de arroz) a los 37 días.

Para complementar el análisis respecto a los resultados con

Tabla 8. Rendimientos en el cultivo de *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*.

CEPA			
<i>Pleurotus ostreatus</i>		<i>Pleurotus pulmonarius</i>	
Formulación (% ms)	Rendimiento (%)	Formulación (% ms)	Rendimiento (%)
48,5% de aserrín de tallo de café + 48,5% de pulpa de café + 3% de carbonato de calcio.	53,8	48,5% de aserrín de tallo de café + 48,5% de pulpa de café + 3% de carbonato de calcio.	32,5
48,5% de bagazo de caña + 48,5% de pulpa de café + 3% de carbonato de calcio.	95,1	64,5% de borra de café + 32,5% de pulpa de café + 3% de carbonato de calcio.	23,0
48,5% de cisco de café + 48,5% de aserrín de tallo de café + 3% de carbonato de calcio.	34,2	48,5% de cisco de café + 48,5% de pulpa de café + 3% de carbonato de calcio.	32,3
48,5% de cisco de café + 48,5% de pulpa de café + 3% de carbonato de calcio.	84,0	97% de bagazo de caña + 3% de carbonato de calcio.	93,3
97% de bagazo de caña + 3% de carbonato de calcio.	60,0		

ms: Porcentaje de materia seca.
Fuente: Rodríguez (17)

otras especies, en la Tabla 8 se presentan los rendimientos medios alcanzados con *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* sobre otras formulaciones elaboradas con subproductos del café.

Se puede apreciar que para un mismo tipo de formulación los rendimientos medios de las diferentes cepas cambia. Por ejemplo, en bagazo de caña el mayor rendimiento se obtuvo con *P. pulmonarius* (93,3%), seguida de *P. ostreatus* (60,0%) y por último *P. sajor caju* (46,2%).

Para la formulación con pulpa y bagazo, el mayor rendimiento medio se obtuvo con *P. sajor caju* con 110,5%, seguido de *P. ostreatus* con 95,1%.

Para la mezcla de pulpa y aserrín de tallo, los mayores rendimientos medios fueron para la cepa de *P. sajor caju* con 89,9%, seguido de *P. ostreatus* con 53,8% y *P. pulmonarius* con 32,6%.

Para la mezcla cisco y pulpa los mayores rendimientos medios se alcanzaron con la cepa de *P. ostreatus* con un rendimiento medio del 84,0%, seguido de la cepa de *P. sajor caju* con 76,7% y de la cepa de *P. pulmonarius* con 32,3%.

De igual manera, para la mezcla borra y pulpa, los mayores rendimientos medios se encontraron la cepa de *P. sajor caju* con 38,2%, seguido por *P. pulmonarius* con 23,0%.

De lo anterior se deduce que una cepa altamente productiva en un determinado sustrato puede ser muy poco productiva en otra formulación y también puede ocurrir que una cepa de muy baja productividad en una formulación puede ser altamente productiva en otro tipo de sustrato.

Pero no solamente la calidad del sustrato y la capacidad biológica de la cepa influyen en la productividad de la misma, también tienen influencia la selección de los cuartos de producción, la calidad de la ventilación, la regulación en la humedad del sustrato y del cuarto de producción y, el aseo y la desinfección de los sitios de cultivo.

Los resultados del cultivo de hongos del género *Pleurotus* presentados en este Boletín Técnico, son una muestra de las múltiples posibilidades que se tienen para combinar los sustratos y las cepas de los hongos, para alcanzar las mejores productividades. Los cultivadores pueden utilizar las

formulaciones aquí presentadas para las cepas de *P. sajor caju*, *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*, dependiendo de los subproductos que más abundan en su zona y también evaluarlas con materiales biológicos nuevos que puedan conseguir con laboratorios productores de semilla, como es el caso de los

hongos *P. florida*, *P. eryngii* y otras variedades de *P. ostreatus*.

En la Tabla 9, se presentan los resultados de la caracterización bromatológica y de minerales realizada a los hongos *P. ostreatus*, *P. pulmonarius* y *P. sajor caju* cultivados en diferentes subproductos del café.

Tabla 9. Análisis bromatológicos y de minerales de carpóforos de *Pleurotus* spp.

Determinación (% en base seca)	Sustratos							
	Aserín tallo de café	Mezcla pulpa- aserín	Pulpa de café	Pulpa de café	Pulpa de café	Mezcla Película plateava - cisco	Mezcla pulpa - grano deteriorado	Tallos
	<i>P. Sajor caju</i> ^a			<i>P. Pulmonarius</i> ^{b,c}	<i>P. Ostreatus</i> ^{a,b}	<i>P. sajor caju</i> ^a		
Humedad (%)	91,5	91,29	86,22	92,19	90,25	92,0	89,90	11,93
Nitrógeno (%)	7,33	8,02	5,94	6,69	6,07	5,50	5,90	4,70
Proteína (%)	32,11	35,13	26,02	29,30	26,59	24,09	26,19	20,39
Cenizas (%)	5,70	8,92	7,66	10,97	7,37	5,55	8,52	8,83
Fibra (%)	14,67	11,98	13,12	0,74	5,17	6,50	10,16	12,94
Grasa (%)	1,48	1,10	1,24	2,37	1,92	0,30	1,47	1,66
LLN (%)	46,04	42,87	51,96	48,62	54,75	69,48	53,66	55,98
P (%)	0,47	0,48	0,37	1,40	0,90	0,12	1,00	0,36
K (%)	1,38	2,29	2,03	4,40	2,38	0,21	3,09	1,61
Ca (%)	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,21
Mg (%)	0,19	0,19	0,10	0,20	0,13	0,01	0,14	0,09
Fe (ppm)	81	214	44	340	96	17	79	130
Mn (ppm)	11	12	8	13	9	5	9	17
Zn (ppm)	120	147	123	166	85	3	82	33
Cu (ppm)	10	19	10	49	17	5	24	26

Los hongos utilizados fueron:

H^a (Agar: seminario Kjeldahl); E^b (Agar: colorimétrico (no hidrogenato de amoníaco); Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre); S^c (Agar: colorimétrico de absorción plómica); B^a (Agar: colorimétrico (azul metano)); F^a (Pectina); C^a (Culdo inorgánico x 0,36); G^a (Agar: Sauer); W^a (Agar: Wende); F^a (NF - extracto libre de Nitrógeno); ca (culdo); pH (Potenciométrico).

^a Fuente: O'Donoghue (2012); ^b Rodríguez (2010).

El contenido de proteína de las diferentes especies de *Pleurotus* cultivadas sobre pulpa de café fue de 26,02% para *P. sajor caju* y 29,3% para *P. pulmonarius*.

Para la especie de *P. sajor caju* el porcentaje de proteína fue de 24,09%, obtenida de los carpóforos producidos sobre la mezcla de película plateada de café y cisco de café, y 35,13% de los carpóforos cosechados sobre la mezcla de aserrín de tallo de café y pulpa de café. Como se puede apreciar, la naturaleza química del sustrato tiene una acción marcada sobre la composición química de los cuerpos fructíferos.

La proteína y el contenido de aminoácidos en los hongos cultivados es aproximadamente 2 veces mayor que el contenido en las cepas que crecen silvestremente (36). En general, los carpóforos en base seca, contienen alrededor de 55% de carbohidratos, 32% de proteína, 2% de grasas y el resto lo constituyen las cenizas (36). El manitol y la trihalosa son los principales azúcares libres (10-12%) y el resto de los carbohidratos se encuentran en forma polimérica, normalmente como fibra cruda. Los carpóforos

no contienen almidón, sin embargo presentan glicógeno entre el 5 y el 8%, lo que hace un alimento adecuado para el consumo de los diabéticos (36).

El contenido de proteína encontrado en los carpóforos cultivados sobre subproductos del café es similar y en algunos casos mayor a la encontrada con estos hongos cultivados en otros subproductos agrícolas, cuyo contenido de proteína oscila entre el 26 y 35% para *P. pulmonarius* (31), entre 10,5% y 30,4% para *P. ostreatus*, y entre 26,6% y 30,7% para *P. sajor-caju* (8, 28).

Para la mayoría de las especies y en la mayoría de los sustratos evaluados el contenido de proteína (en base seca) de los hongos es alto al compararlo con otros alimentos consumidos en la zona cafetera como el arroz, el maíz y la leche, que presentan un contenido de proteína del 7,3%, 9,4% y 25,7%, respectivamente.

En lo relacionado con el producto fresco, el contenido de proteína de los hongos cultivados osciló entre 2,4 y 3,5%. Otros alimentos consumidos en la zona cafetera

tienen los siguientes contenidos de proteína en peso fresco: la naranja 1%, la zanahoria 1,2%, la papa 2%, la leche entre 2,9 y 3,3%, el huevo 13%, la carne entre el 12 y 20%, y el pollo y el pescado entre el 18 y 20% (8, 28).

La proteína de los hongos *Pleurotus* spp., contiene los 9 aminoácidos esenciales requeridos en la alimentación humana.

A diferencia de la proteína animal, la proteína de los hongos es incompleta, debido a que faltan algunos de los aminoácidos esenciales azufrados y aromáticos. Los carpóforos son una fuente de vitaminas, particularmente del complejo B y ácido fólico, las cuales contrarrestan la anemia perniciosa (36).

En la Tabla 10, se presentan los resultados del análisis bromatológico realizado a las conservas de *Pleurotus* spp. Cuando los hongos se conservan en salmuera su contenido de proteína se encuentra entre el 21,46 y el 23,61%. El sabor, es el aspecto más importante para extender el consumo de estos hongos comestibles, tanto silvestres como cultivados (36).

Tabla 10. Análisis bromatológicos de conservas de Pleurotus spp.

Especie	Humedad (%)	Carbohidratos (%)	Grasas (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	N (%)	Ca (%)
<i>P. Ostreatus</i>	89,37	15,40	5,89	21,46	10,59	4,90	46,66
<i>P. Pulmonarius</i>	89,73	12,44	2,32	23,61	12,69	5,39	48,91
<i>P. Sajorscagu</i>	89,10	14,07	2,52	22,59	11,94	5,18	48,78

Los métodos utilizados fueron:

Nitrógeno: semimicro Kjeldahl. Fósforo: Calculado (nitrógeno x 4,35). Grasa: Soxhlet. Calcio: Weende (HCl). Fibra: Fibra dietética (Nitrógeno) calculado.

(%) expresado en base seca.
(en base húmeda).

4. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO

Los hongos comestibles desempeñan un papel muy importante en la ecología del ciclo del carbono, ya que por su papel saprofito, reducen la acumulación de residuos orgánicos en la naturaleza.

Su cultivo no sólo está ligado al impulso de programas de seguridad alimentaria o a la diversificación del ingreso al productor, sino también con la protección de los recursos naturales.

El cultivo de los hongos *Pleurotus* spp., ha tenido como

finalidad propiciar alternativas de manejo de los subproductos del café para evitar que se conviertan en una fuente de contaminación de los recursos naturales (34).

Los residuos que se generan en el cultivo de los hongos son sólidos y líquidos. Entre los residuos sólidos generados en el cultivo se encuentran:

- El sustrato agotado después de realizada la cosecha.
- Las bolsas plásticas utilizadas en el cultivo.

- Las bolsas contaminadas o sin crecimiento micelial.

- Los residuos del pie del hongo, en el manejo postcosecha.

Dentro de los residuos líquidos generados en el cultivo se encuentran las aguas residuales provenientes de la adecuación anaerobia del sustrato.

En la Tabla 11, se presentan los resultados de los análisis bromatológicos y de minerales de varios sustratos antes y después del cultivo de hongos *Pleurotus* spp.

Tabla 11. Análisis bromatológicos y de minerales de los sustratos antes (A) y después (D) del cultivo de *Pleurotus* spp.

Determinación (% en base seca)	<i>Pleurotus sajor caju</i> [*]						<i>Pleurotus pulmonarius</i> ^{**}		<i>Pleurotus ostreatus</i> ^{***}	
	Pulpa de café		Aserín de tallos decafé		Pulpa + Aserín de tallo de café		Pulpa de café		Pulpa de café	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
Humedad (%)	78,48	78,81	52,63	47,83	73,66	73,05	76,28	82,36	78,33	83,52
Nitrógeno (%)	1,83	2,18	0,55	0,77	1,15	1,06	1,14	2,58	1,61	2,71
Proteína (%)	11,43	13,62	3,44	4,82	7,17	6,62	7,13	16,13	10,03	16,94
Genizas (%)	2,85	3,60	1,45	2,02	2,79	2,65	1,22	5,76	6,89	8,24
Fibra (%)	11,18	33,00	67,30	67,30	58,03	59,47	11,75	20,07	13,17	22,64
Grasa (%)	4,83	3,15	4,98	0,42	1,69	1,03	1,71	3,68	2,39	1,58
FN (%)	46,71	46,63	22,83	25,44	32,30	30,23	68,19	53,36	67,48	53,30
P (%)	0,04	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01	0,08	0,06	0,12	0,08
K (%)	0,42	0,22	0,04	0,04	0,20	0,16	3,49	1,68	2,69	2,24
Ca (%)	0,09	0,46	0,36	0,46	0,93	0,48	0,40	0,06	0,37	0,01
Mg (%)	0,06	0,1	0,02	0,02	0,03	0,03	0,08	0,18	0,11	0,17
Fe (ppm)	597	267	921	80	161	136	Nd	Nd	118	880
Mn (ppm)	31	52	25	17	20	21	Nd	Nd	37	101
Zn (ppm)	28	38	9	9	34	27	Nd	Nd	17	39
Cu (ppm)	12	19	5	4	10	7	Nd	Nd	13	29
C/N	34	28	17	31	54	58	49	23	37	21

Nd: No determinado

fuente: ^{*} Osorio (32); ^{**} Rodríguez y Zuluaga (16); ^{***} Gómez (18)

Los métodos utilizados fueron: Nitrógeno: semimicro Kjeldahl; Fósforo: colorimétrico (método vanadato de amonio); Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Zinc y Cobre, espectrofotometría de absorción atómica; Boro: colorimétrico (azometina II); Proteína: Calculado (nitrógeno x 6,25); grasa: Soxhlet; Fibra: Wende; (FN) Extracto Libre de Nitrógeno; calculado; pH: Potenciométrico.

Al comparar los análisis bromatológicos del sustrato fresco y del sustrato residual, se observa un aumento en el contenido de proteína del sustrato residual debido a los residuos del micelio de *Pleurotus* spp. que quedan en el sustrato.

Los incrementos en el contenido de fibra, Ca y Mg en el residuo respecto al sustrato fresco se deben a las pérdidas de compuestos solubles durante

la fase de fermentación del sustrato y a las pérdidas de materia seca de éste durante la fase de respiración del hongo, que hace que los valores de estos parámetros se concentren.

De igual manera se observa una disminución en el contenido de P y K debido a la asimilación de estos elementos por parte de los hongos, los cuales tienen un alto contenido de potasio y fosfatos asimilables.

La pérdida de materia orgánica es el criterio más simple para evaluar la degradación del sustrato. Esta evaluación se realiza tomando en cuenta el hecho de que durante el crecimiento de los hongos y la consecuente descomposición del sustrato hay pérdidas de CO₂ y H₂O (36). De igual forma, la relación C/N, refleja la degradación de la materia orgánica, pues al disminuir el contenido de C, la relación disminuye.

Las diversas especies de Pleurotus tienen una capacidad diferente de degradación de los sustratos que está ligada a su naturaleza enzimática. Bajo condiciones de cultivo in vivo las actividades enzimáticas varían dependiendo de la tasa de crecimiento de las especies en estudio, del sustrato sobre el cual están creciendo y de la etapa de crecimiento, siendo máxima durante la fructificación (36).

Para el caso de la pulpa de café, la especie que mostró la mayor capacidad de degradación del sustrato fue *P. pulmonarius*. Con esta especie la relación C/N pasó de 49 a 23, seguida de *P. ostreatus* donde el sustrato pasó de una C/N inicial de 37 a 21 en el sustrato agotado, y la cepa de *P. sajor caju* mostró la menor capacidad de degradación pasando el sustrato de una C/N de 34 a una final de 28. Varios estudios han mostrado que durante el cultivo de las especies de Pleurotus, los complejos lignocelulósicos, son descompuestos por el micelio del hongo. En este proceso el CO₂ libre es expulsado y la relación C/N disminuye (36).

Los valores de las relaciones C/N presente en el sustrato residual, permiten pensar en la posibilidad de poderlo reciclar para el cultivo del *Agaricus bisporus* (champiñón de París).

También para la pulpa de café, el mayor incremento en el

contenido de proteína en el sustrato residual, con respecto al sustrato fresco, fue para *P. pulmonarius*, que a su vez presentó el mayor contenido de proteína en el cuerpo reproductor (29,30%), seguido de *P. ostreatus* y *P. sajor caju*, presentándose una relación directa en el contenido de proteína de los cuerpos reproductores y del sustrato residual.

El incremento en el contenido de proteína del sustrato residual, aunado a la degradación de la lignina que hacen las especies de Pleurotus aumentando la digestibilidad del residuo, abren la posibilidad de poderlo utilizar en la alimentación animal.

Lozano (25), reporta que los residuos de la producción de Pleurotus *ostreatus*, consistentes en la pulpa de café con el crecimiento micelial del hongo, se suministraron (mezclados con pasto de corte), a vacas lactantes, en una cantidad diaria de 10 kg de residuo/vaca, y que después de 3 meses no se observaron síntomas adversos en las vacas alimentadas con el residuo, al contrario se registró un incremento promedio de leche correspondiente a un 12% respecto a la producción obtenida antes del tratamiento.

Herrera y Saldaña (20), afirman que el residuo del cultivo de los hongos puede ser utilizado en la alimentación de rumiantes

debido a sus propiedades probióticas, que ayudan a la asimilación de los alimentos.

Cuando los materiales residuales presentan relaciones C/N superiores a 20, estos sustratos no pueden ser utilizados como fertilizantes orgánicos, ya que la relación indica que el material aún no está descompuesto. Un material se considera ya descompuesto, estabilizado y apto para ser utilizado en el campo como fertilizante orgánico cuando la relación C/N está en el rango entre 10 y 12, su pH es cercano a la neutralidad (6 a 8), y tiene apariencia de suelo.

Existen 2 técnicas para la transformación del sustrato residual en abono orgánico, una de ellas es el compostaje que consiste en realizar volteos periódicos al sustrato para permitir el crecimiento de microorganismos aerobios responsables de su transformación, y la otra es el lombricompostaje que consiste en utilizar lombrices para lograr esta transformación.

Martínez (26), encontró que en México el sustrato residual del cultivo de hongos comestibles es transformado mediante compostaje en abono orgánico, para ser utilizado en las fincas cafeteras.

En Cenicafé, el sustrato residual del cultivo de los hongos y los

sustratos contaminados con hongos competidores o sin crecimiento micelial, se transformaron en abono orgánico mediante la utilización de la lombriz roja. Para ello se utilizó la metodología descrita por Dávila y Ramírez (11).

El balance de materia en peso seco para el cultivo de las 3 especies de *Pleurotus* sobre pulpa de café mostró pérdidas durante el proceso de adecuación anaerobia del sustrato que oscilaron entre el 34% y el 37%.

De las diferentes formulaciones evaluadas, las mayores pérdidas corresponden a la pulpa de café (37%) y a las mezclas que contienen pulpa así: mezcla de pulpa - hoja de plátano (35%), mezcla de pulpa - granos deteriorados (34% y 30%), mezcla de pulpa - cisco (32%), mezcla de pulpa - aserrín (27%) y mezcla de pulpa - bagazo (26%).

Las menores pérdidas durante la adecuación anaerobia del sustrato corresponden a materiales celulósicos como la borra de café, el aserrín del tallo de café, el bagazo de caña, el tamo y la cascarilla de arroz, las cuales oscilan entre el 7% y el 12%.

Las pérdidas en materia seca durante las etapas de incubación y fructificación oscilaron para las cepas de *P. ostreatus* y *P. sajor caju* en los diferentes subpro-

ductos, entre el 15% y el 19%, debido a la acción metabólica de los hongos (45, 39).

Para el caso de *P. pulmonarius*, las pérdidas en las etapas de incubación y fructificación fueron mayores a las presentadas por las otras 2 especies y se situaron entre el 28 y el 30% (45), mostrando con ello la mayor capacidad de degradación de esta cepa, tal como se había expresado anteriormente.

El porcentaje de materia seca que se transformó en biomasa osciló entre el 2,7% y el 7,2%, dependiendo de la productividad de la cepa evaluada.

El sustrato residual del cultivo cuando se utilizaron mezclas con pulpa de café, osciló entre el 38 y 48% de la materia seca inicial.

Los sustratos residuales se sometieron al proceso de lombricompostaje, alcanzando porcentajes promedios de conversión en lombricompostado en materia seca del 50,5%, una producción media de biomasa de lombriz del 0,5% y unas pérdidas medias en el proceso de transformación del 49%.

El hecho de que este sustrato se encuentre parcialmente degradado por el cultivo de *Pleurotus* spp. favoreció el tiempo de descomposición por parte de la lombriz, el cual fue menor que el encontrado cuando se utilizó la mezcla fresca.

En promedio los lombricompostados obtenidos presentaron una humedad del 72%, un pH de 7,7 y una relación C/N entre 12 y 15 (Figura 43).



Figura 43

Lombricultivo en cajas plásticas para el tratamiento del sustrato residual.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, puede calcularse que por cada tonelada de sustrato fresco que involucre pulpa de café en un 50% ó más, se podrían obtener en promedio 100 kg de hongos frescos, 4,5 kg de lombriz roja y 150 kg de lombricompuesto húmedo, por ciclo de cultivo de 3 meses.

Los resultados generados en torno a la fertilización orgánica indican que con la aplicación del lombricompuesto proveniente de la pulpa de café se obtienen producciones similares a las obtenidas con la fertilización química. La dosis a aplicar oscila entre 0,5 y 3 kg de lombricompuesto/planta por año, aplicada en forma superficial (47).

En lo relacionado con los recortes del pie de los hongos, que se generan en la fase postcosecha, representaron el 12% del peso de los hongos, con un contenido de proteína del 20,6%, que es menor al encontrado en los sombreros (26,2%), pero que se constituye en un alimento de calidad para suministrarlo a pollos de engorde o a estanques piscícolas. Para ello es recomendable colocar estos residuos a secar al sol y luego molerlos (Figura 44).

Con respecto a la disposición de las bolsas plásticas generadas en el cultivo, es recomendable



Figura 44

Tallos secos y molidos de Pleurotus aptos para utilizarlos en alimentación animal.

que se lleven a un centro de acopio para su reciclado. Si no se cuenta con centros de acopio cercanos a la finca, o si las cantidades a eliminar son pocas, pueden quemarse en un lugar abierto alejado de viviendas, depósitos, corrales, etc, teniendo en cuenta la velocidad y la dirección del viento, además de usar equipo de protección visual y respiratorio.

La incineración de las bolsas no provoca emisiones gaseosas adicionales a las producidas por otros combustibles.

En la adecuación anaerobia de los sustratos se generan aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica, las cuales es necesario tratar

utilizando sistemas biológicos. Las aguas residuales que muestran las mayores concentraciones de DQO, son aquellas provenientes de la adecuación de sustratos que contienen pulpa de café, cuyos valores de concentración están entre 37.300 ppm y 15.200 ppm. Para sustratos como borra de café, aserrín del tallo de café, cisco y película plateada las concentraciones de DQO en el agua residual son menores a 3.700 ppm.

La concentración media de las aguas residuales provenientes de las mezclas de pulpa de café con otros subproductos es de 26.250 ppm en términos de DQO, la cual es muy similar a la generada en el proceso de

lavado de café en los tanques de fermentación, que es del orden de 27.400 ppm (Figura 45).

Por consiguiente, las aguas residuales generadas en el proceso de cultivo de los hongos *Pleurotus* spp., pueden ser tratadas apropiadamente en los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico diseñados por Cenicafé para el tratamiento de las aguas residuales de beneficio en las fincas (Figura 46) (57).



Figura 45

Aspecto del agua residual proveniente del proceso de adaptación del sustrato.



Figura 46

Sistema anaerobio para el tratamiento de aguas residuales biodegradables.

5. MANEJO DE ENFERMEDADES Y PLAGAS

El cultivo de los hongos *Pleurotus* spp., al igual que cualquier otro cultivo no está exento de enfermedades y plagas. Sin embargo, teniendo en cuenta que su producción se hace bajo condiciones de invernadero, es posible mantener las pérdidas del cultivo en porcentajes muy bajos utilizando medidas preventivas, el control cultural y las trampas físicas, para obtener hongos orgánicos sin necesidad de utilizar plaguicidas.

La importancia de la higiene dentro del cultivo de los hongos se reconoce hoy como el método más eficaz de control de las enfermedades y las plagas (15).

El uso de productos químicos durante el ciclo de cultivo de *Pleurotus* está limitado por la alta susceptibilidad de los hongos a los plaguicidas y por el riesgo de acumulación de residuos de estos productos en los cuerpos fructíferos. Por tanto, las medidas que mejor pueden ayudar a reducir la contaminación son la limpieza y la desinfección de las áreas vacías, la apropiada disposición de los sustratos residuales y de todas las posibles fuentes de contaminación y el buen manejo del cultivo por parte del personal encargado (17).

Para tener un cultivo sano es necesario limpiar y desinfectar los cuartos donde se llevarán a cabo las actividades del cultivo. De igual forma deben utilizarse materias primas frescas para la elaboración de los sustratos o en su defecto materiales secos y almacenados apropiadamente.

Cuando se tienen subproductos con varios días de generados y con contenidos de humedad superiores al 12%, se corre el riesgo del asentamiento de microorganismos competidores que interfieren durante la etapa de incubación.

Debe utilizarse agua limpia para la adecuación anaerobia del

sustrato y para los riegos. Cuando se usa agua contaminada con productos químicos se inhibe el crecimiento micelial y cuando el agua está contaminada con materia orgánica se permite la proliferación de microorganismos contaminantes. Si no se tiene seguridad de la calidad del agua, ésta puede desinfectarse utilizando 2 ml de límpido comercial por cada litro de agua, y dejando la solución en reposo durante 30 minutos.

Debe utilizarse semilla fresca con máximo 15 días de generada y proveniente de un cultivo puro o de un aislamiento de un cuerpo reproductor sano y de excelente calidad

Los cuartos deben estar alejados de áreas que puedan ocasionar contaminación cruzada, como el caso de áreas de descomposición de material orgánico y caminos con tráfico, ya que durante la ventilación del cultivo se puede ingresar a las zonas de incubación y fructificación esporas de hongos y ácaros que ocasionan daño a los cultivos.

El personal que labore en el cultivo debe ser muy cuidadoso con las normas de higiene para evitar entrar contaminación al mismo. Para ello es recomendable tener a la entrada de las áreas de incubación y fructificación recipientes con formol comercial al 5% (50 ml de formol por cada 950 ml de

agua), para sumergir el calzado con el que se ingrese a estas zonas. De igual forma, en éstas áreas debe estar disponible un delantal limpio, con el que no se debe salir afuera.

Durante la recolección es recomendable que los utensilios utilizados sean desinfectados previamente con solución de formol comercial al 5% o límpido comercial a una concentración del 20% (17).

Si se siguen estas normas de higiene se estará previniendo, en un porcentaje muy alto, la contaminación del cultivo.

Las alteraciones en el cultivo de los hongos pueden deberse a factores bióticos o abióticos, o a una combinación de ellos. Los factores bióticos son los más preocupantes porque su persistencia en el cultivo afecta la rentabilidad (15).

Las causas bióticas de alteraciones que se presentan con más frecuencia en el cultivo de *Pleurotus* spp. son los hongos parásitos, hongos competidores, bacterias, virus y plagas como insectos (dípteros, colémbolos) y ácaros (15, 17).

Entre las contaminaciones por hongos competidores encontrados en el cultivo de *Pleurotus* sobre subproductos de café, se destacan las ocasionadas al sustrato por hongos de los géneros: *Aspergillus* spp. (Figura 47), *Trichoderma* spp.,



Figura 47
Contaminación del sustrato con *Aspergillus* spp.



Penicillium spp., *Neurospora* spp. y *Coprinus* spp. También, se ha encontrado contaminación con levaduras (45).

Con frecuencia a los mohos competidores se les denomina en función del color de las esporas o del micelio que se observa en el cultivo. Así, a *Trichoderma* spp. se le denomina el moho verde y a *Neurospora* spp. el moho de fuego. Estos hongos aparecen

principalmente cuando las condiciones de cultivo no son favorables para el crecimiento de *Pleurotus* spp. y se les considera competidores por nutrientes.

Diferentes investigadores han reportado contaminación con *Penicillium* spp. en cultivo de *Pleurotus* spp. sobre pulpa de café fresca y pasteurizada (27) y en pulpa fermentada y pasteurizada (Figura 48) (21).



Figura 48
Contaminación del sustrato con *Penicillium* spp.

Igualmente, se han reportado contaminaciones en el cultivo de *Pleurotus* spp. sobre pajas de cereales con hongos de los géneros *Trichoderma* spp., *Monilia* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp., *Trichothecium* spp., *Mucor* spp., *Sclerotium* spp., *Coprinus* spp., *Pluteus* spp., y *Papulaspora* spp. (16, 36).

Un aspecto que merece especial atención es el aislamiento de un cultivo afectado por hongos competidores. Una vez establecidos en un bloque, las esporas rápidamente invaden a los bloques sanos. Por consiguiente, su temprana identificación y aislamiento es esencial.

Muchas enfermedades y algunas plagas se ven afectadas en cierta medida por el medio ambiente pero no es posible controlar la mayoría de ellas solamente mediante manipulación ambiental (15).

El moho verde (*Trichoderma* spp.) es un vigoroso colonizador de la materia orgánica, especialmente si tiene un alto contenido de carbohidratos. Por este motivo puede estar presente en la semilla y en los pies donde se han cortado los hongos (Figura 49) (15). El moho verde se controla, preferiblemente colocando atención a la higiene del cultivo. Con frecuencia basta con aplicar tratamientos puntuales de sal de cocina en las áreas afectadas (15).



Figura 49
Contaminación del sustrato con *Trichoderma* spp.

El moho de fuego (*Neurospora crassa*) es un hongo con un micelio blanco al principio, que se vuelve rápidamente anaranjado (Figura 50). Se forman grandes mallas de micelio, que parecen fibras de algodón y

cuelgan como telarañas. Producen un gran número de esporas, de forma que una vez se establece el moho en el cultivo es difícil de eliminar. No se conocen medidas específicas de control (15).

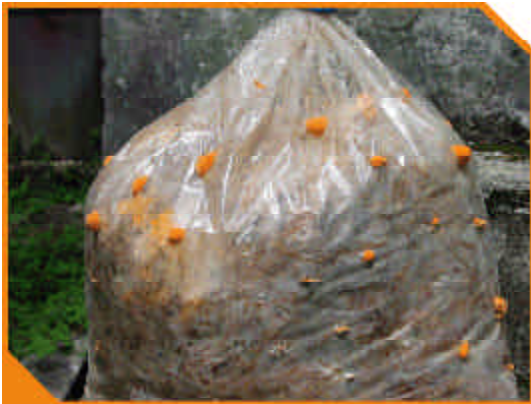


Figura 50
Contaminación del sustrato con *Neurospora crassa*. Fuente: 2.

Los cuerpos fructíferos de *Coprinus* spp. suelen presentarse antes de la cosecha (Figura 51). El micelio es de color gris y no se distingue fácilmente del micelio de *Pleurotus* spp. la presencia de *Coprinus* spp. puede indicar un elevado contenido de nitrógeno en el sustrato o una inadecuada adaptación anaerobia.

Penicillium spp., es otro género de hongos de color verde, que compite por los nutrientes del sustrato al igual que *Aspergillus* spp., que son hongos que pueden tener coloraciones negras, blancas, verde-amarillas y ocre. 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. Suele aparecer en la superficie del



Figura 51
Contaminación del sustrato con *Coprinus* spp.

sustrato, cuando se produce una condensación de humedad en el mismo impidiendo así la fructificación normal de los carpóforos. Estos hongos parásitos también se manifiestan sobre los restos del pie del hongo que permanecen en el sustrato tras la recolección (17).

Una buena higiene de los sitios de cultivo, la apropiada adecuación de los sustratos, evitar la condensación de agua en la superficie de los bloques y retirar completamente el hongo durante la recolección, permiten el control de estos hongos competidores.

Las levaduras son, particularmente, abundantes en sustratos que contienen azúcares. Se han encontrado

como microorganismos naturales en la pulpa de café, sobre todo las del género *Candida* spp. (5), su presencia en los sustratos que contienen pulpa de café ha sido reportada por Rodríguez (41), pero la presencia de este tipo de levaduras en el sustrato no ocasiona problemas en el desarrollo de los hongos del género *Pleurotus* spp. (51).

En lo relacionado con las enfermedades causadas por bacterias, la más común en el cultivo de *Pleurotus* spp. es la mancha bacteriana y se debe a la bacteria *Pseudomonastolaasi*. El síntoma más característico es la aparición de manchas pardo oscuras en la superficie del sombrero de los hongos (Figura 50).

Los hongos infestados con bacterias deben ser cosechados y desecharse. También se recomienda evitar el riego en el momento de detectar algún síntoma de contaminación en las fructificaciones, ya que el escurrimiento del agua puede provocar la propagación de la enfermedad (15, 16).

En lo relacionado con las plagas, la mayor parte de las alteraciones del cultivo se deben a diferentes dípteros (moscas) que se sienten atraídas por el olor del micelio y ovipositan sobre éste. Sus larvas pueden alimentarse directamente del micelio, cubrir los carpóforos o excavar en los ya desarrollados (15). Estos insectos son llamados "moscas de los hongos" como los dípteros de las familias Phoridae del género *Megaselia* y Sciaridae del género *Lycoriella* (16, 17). Posteriormente, los tejidos dañados por las moscas son colonizados por bacterias que causan la pudrición blanda acentuando el problema (15).

Los colémbolos son insectos sin alas que viven en el sustrato y se nutren del tejido fúngico, al tiempo que excavan pequeñas galerías irregulares. También se encuentran con mucha frecuencia entre las láminas de los cuerpos fructíferos, haciendo perforaciones. Son favorecidos por un exceso de humedad en el sustrato y en el aire, y son



Figura 52
Contaminación de los hongos con bacterias.

sensibles a las temperaturas altas (17).

Los colémbolos entran en los cultivos generalmente con la materia orgánica. Las medidas que ayudan a minimizar su daño son una adecuada limpieza de los cuartos de cultivo y apropiada adecuación del sustrato (17).

Los ácaros son artrópodos que pertenecen a la clase Aracnida y al orden Acarina, como las larvas de las moscas pueden alimentarse del micelio y de los hongos en desarrollo o ya formados (15). La manera más eficaz para su control es una estricta higiene en el cultivo, sobre todo en lo relacionado

con la adecuada disposición de los residuos.

Otros insectos comunes en los cultivos de las setas son las llamadas “catarinas”, pequeños escarabajos de los géneros *Mycotretus* y *Pseudyschirus* que se comen los hongos en desarrollo (16).

En los trabajos realizados en Cenicafé, la principal plaga fue un insecto del orden Coleóptera y de familia Chrysomelidae. Un pequeño escarabajo de color rojo que ocasionó daño tanto al pie como al sombrero de los hongos en desarrollo y ya desarrollados (Figura 53).

Para prevenir el ataque de los insectos a las áreas de cultivo es necesario colocar telas de malla fina en las entradas de aire y poner trampas con atrayentes (16).

Los virus ocasionan en el cultivo de *Pleurotus* spp., una disminución en el rendimiento. Durante la incubación el crecimiento del micelio afectado por virus es más lento. El principal medio de transmisión de virus en los hongos es a través de las esporas o micelio infectado (17).

El control de la virosis se basa fundamentalmente en las buenas prácticas de higiene de los cuartos de cultivo, una adecuada manipulación de la humedad relativa, la recolección oportuna de los carpóforos, un buen control de insectos y la oportuna disposición del sustrato residual del cultivo (17).

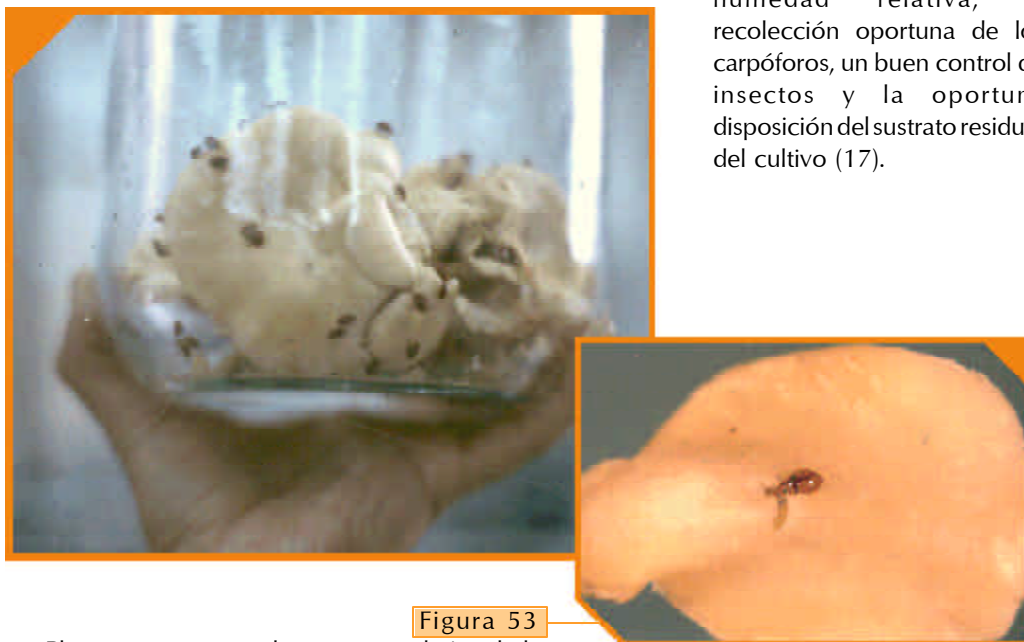


Figura 53

Pleurotus spp. atacados por escarabajos de la familia Chrysomelidae.

6. PROBLEMAS EN EL CULTIVO Y SOLUCIONES

Los principales factores abióticos que ocasionan daños en el cultivo son la temperatura, la humedad relativa, la concentración de anhídrido carbónico en el aire, un nivel excesivo de humedad en el sustrato y la presencia de productos químicos tóxicos en la atmósfera o en el sustrato (15).

Luz

Las especies de *Pleurotus* tienen fototropismo positivo, ya que la luz es uno de los factores necesarios para el desarrollo de los primordios. Una luminosidad pobre o su ausencia llevará a

una disminución o fracaso en la producción (Figura 54).

En condiciones de total oscuridad se generan escasos carpóforos que suelen ser deformes, arracimados, de color blanco y sabor amargo, en los que no se distingue el pie y el sombrero.

En condiciones de escasez de luz los cuerpos fructíferos tienen forma de corneta, sombrero muy reducido y pie alargado y débil.

Un exceso de luz también es perjudicial porque puede retardar la formación de primordios (17).

Ventilación

El aumento en el contenido de gas carbónico (CO_2) por falta de ventilación puede producir una demora en la aparición de los cuerpos reproductores o un marchitamiento de los mismos, cuando éstos ya se han desarrollado (Figura 55).

En exceso de CO_2 y adecuadas condiciones de luz y humedad, los hongos dejan de crecer, se vuelven de color marrón -avellana, el pie crece excesivamente y el sombrero tiene forma de embudo. A menudo los hongos jóvenes empiezan a marchitarse de la parte media o superior del bloque de sustrato.



Figura 54

Cultivo de *Pleurotus* spp. bajo condiciones de luz insuficiente.



Figura 55

Cultivo de *Pleurotus* spp. bajo condiciones de ventilación insuficiente.

En la Tabla 12, se presentan los problemas más frecuentes que se presentan en la etapa de fructificación, sus posibles causas y la solución del problema. También puede presentarse en el cultivo el fracaso en la fructificación debido a la formación de un conglomerado micelial (rizomorfo) que se desarrolla en la superficie del sustrato. Aunque las causas para estos síntomas varían entre variedades,

Tabla 12. Problemas, causas y soluciones en la etapa de fructificación de *Pleurotus* spp.

Problema	Causa	Solución
Después que las bolsas son perforadas o abiertas los hongos tardan en aparecer.	El micelio no se maduró lo suficiente.	Permita madurar un tiempo extra el micelio, para ello mantenga las bolsas en incubación por lo menos 1 o 2 semanas más.
	Temperatura alta o baja.	Esponga los bloques a la temperatura correcta de fructificación del hongo.
	Insuficiente humedad.	Mantenga la humedad del cuarto entre 90 y 95% (regue con agua en forma de niebla).
	Insuficiente ventilación.	Realice aberturas de ventilación en el cuarto para dar suficiente aereación.
	Semilla del hongo débil o degenerada.	Use semilla de hongo fresca y de un laboratorio confiable.
Los hongos son pequeños y no crecen tan grandes como se esperaba.	Semilla del hongo débil o degenerada.	Use semilla de hongo fresca y de un laboratorio confiable.
	Nutrientes insuficientes.	Incrementa suplementos en la formulación del sustrato.
	Demasiado desarrollo de hongos al mismo tiempo.	Permita sólo el desarrollo de unos pocos hongos a un tiempo abriendo las bolsas sólo ligeramente.
Los hongos se están pudriendo antes de recogerlos.	Los nutrientes en el sustrato están disminuyendo después de varias cosechas.	Realice un riego a los bloques de sustrato con fertilizante soluble.
	Hay enfermedad bacteriana o fúngica.	Descarte los hongos o bolsas infectados y lívelos a los lombricultivos para prevenir la difusión de la enfermedad.
Muy pocos hongos para cosechar.	Insuficiente alimento en el sustrato.	Cambie la formulación del sustrato incrementando la suplementación.
	Semilla del hongo débil o degenerada.	Use semilla de hongo fresca y de un laboratorio confiable.
	Temperatura demasiado alta o baja.	Provea temperatura óptima para la fructificación del hongo.
Hongos de tallos largos y delgados.	Luz insuficiente.	Provea la iluminación adecuada para el hongo.
Infección y daños por insectos.	Sanidad insuficiente, ambiente demasiado expuesto.	Utilice trampas (atraveses, cintas, mallas) para atrapar los insectos.
Infección por ácaros.	Sanidad insuficiente, ambiente demasiado expuesto.	Espolvoree carbonato sobre los estantes que contienen las bolsas inestadas.

fuente: Asociación de Cultivadores (10).

esto se presenta cuando la concentración de gas carbónico es alta y el sustrato tiene un bajo contenido de humedad y se presenta una temperatura alta en el cuarto de fructificación.

Cuando la superficie del bloque se seca demasiado rápido, por efecto de la temperatura ambiente, el micelio forma un tejido espeso en la superficie del mismo, el

cual prontamente se endurece.

Para que no se presente este conglomerado es necesario realizar una ventilación frecuente y mantener temperaturas y humedades apropiadas en el sustrato y en el cuarto de fructificación. Pero si se tiene el problema, la solución consiste en irrigar el bloque de sustrato con

abundante cantidad de agua después de cortar la superficie del mismo a una cierta distancia. Los sustratos colonizados con el micelio absorben el agua irrigada y llena los espacios vacíos. Este proceso ayuda a la fructificación de los hongos. Asegúrese de eliminar el agua en exceso realizando pequeños agujeros en la bolsa.

7. CONCLUSIONES

- 1 La mayoría de los subproductos agrícolas generados en la zona cafetera pueden utilizarse para cultivar hongos comestibles del género *Pleurotus*.
- 2 Es mejor cultivar los hongos del género *Pleurotus* sobre mezclas de subproductos, ya que éstas mejoran las condiciones físicas del sustrato y por tanto, los rendimientos del cultivo se favorecen.
- 3 Para la mayoría de las formulaciones, constituidas por mezclas de subproductos de la zona cafetera se alcanzaron rendimientos medios superiores al 50%, que las hace factibles para ser explotadas económicamente.
- 4 Las formulaciones más económicas para el cultivo de los hongos son aquellas que combinan unos buenos rendimientos con una fácil consecución y transporte de las materias primas.
- 5 No todas las cepas de *Pleurotus* tienen la habilidad de fructificar sobre los subproductos del cultivo del café.
- 6 Para un mismo tipo de formulación los rendimientos medios de las diferentes cepas cambian, dado que ellas tienen diferente actividad enzimática.
- 7 La composición química del sustrato tiene una acción marcada sobre la composición química de los cuerpos fructíferos y sobre los rendimientos del cultivo.
- 8 Los hongos del género *Pleurotus*, por su facilidad de cultivo y por su alto contenido de proteína, pueden cultivarse en las fincas cafeteras con el objeto

de utilizarse en programas de seguridad alimentaria.

9 El cultivo de los hongos no debe estar exento de un manejo integrado del cultivo. Por tal razón las condiciones higiénicas de los cuartos de cultivo, al igual que el manejo de los residuos es fundamental para evitar la presencia de plagas y enfermedades.

10 La lombricultura es el proceso más adecuado para el manejo del sustrato residual del cultivo y de los sustratos contaminados.

11 Los sistemas modulares de tratamiento anaerobio, son los apropiados para el tratamiento de las aguas

residuales que se generan en el cultivo.

12 Por cada tonelada de sustrato fresco que involucre pulpa de café en un 50% ó más, se podrán obtener en promedio, 100 kg de hongos frescos, 4,5 kg de lombriz roja y 150 kg de lombricompost húmedo, por ciclo de cultivo de 3 meses.



Cultivo de hongos comestibles del género
Pleurotus sobre residuos agrícolas de la zona cafetera

8. LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ G., J. Despulpado de café sin agua. Avances Técnicos Cenicafé N° 164: 1-8. 1991.
2. AMORTEGUI, I.; SUÁREZ. L. Cultivo de setas comestibles sobre los residuos agroindustriales del arroz y el algodón en la región del Tolima. Ibagué, Corporación Universitaria de Ibagué. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Industrial, 2003.50 p.
3. ANDREOTTI, R.; TOMASICCHIO, M. Il Pleurotus ostreatus, nuovo fungo di coltivazione: caratteristiche e idoneità alla preparazione di conserve. Industria Conserve No. 1: 29-32. 1975.
4. BARRON, G. L.; THORN, R. G. Destruction of nematodes by species of Pleurotus. Canadian Journal of Botany 65: 774-778. 1987.
5. BLANDÓN C., G.; RODRÍGUEZ V., N.; DÁVILA A., M.T. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. Cenicafé 49(3):169-185. 1998.
6. CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná, Cenicafé, 1977. 84 p. (Boletín Técnico No. 6).
7. CARDONA U., L. F. Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible Pleurotus ostreatus. Crónica Forestal y del Medio Ambiente N°. 16:99-119. 2001.
8. CHANG, S.T. Curso Internacional sobre el cultivo de hongos tropicales. Chinchiná, CENICAFÉ, 1998. 89 p.
9. CHANG, S. T.; MILES, P.G. Edible mushrooms and their cultivation. Boca Ratón, CRC Press, 1989. 345 p.
10. CURVETTO. N. Biotecnología de hongos comestibles y medicinales. Bahía Blanca, s.e., 1999. 74 p.
11. DÁVILA, M. T.; RAMÍREZ, C. A. Lombricultura en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 225:1-11. 1996.
12. EL-KATTAN, M.; HELMY, Z.; EL-LEITHY, M.; ABDELKAWI, K. Studies on cultivation techniques and chemical composition of oyster mushroom. Mushroom Journal for the Tropics 11(3-4): 59-66. 1991.
13. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FEDERACAFÉ. BOGOTÁ. COLOMBIA; CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Anuario meteorológico cafetero 2002. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 537 p.
14. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA – FEDERACAFÉ. BOGOTÁ. COLOMBIA. Censo cafetero 1997. Sistema de Información Cafetera (SICA). Santafé de Bogotá, FEDERACAFÉ, 1997. 178 p.
15. FLETCHER, J. T.; WHITE, P. F.; GAZE R. H. Mushrooms: Pest and disease control. 2. Ed. Londres, Intercept Limited, 1986. 159 p.
16. GAITÁN H., R.; ALMONES, D.; PEREZ M., R.; MATA, G. Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Xalapa, Instituto de Ecología, 2002. 56 p.
17. GEA, F.J. Plagas y enfermedades del género Pleurotus spp. In: Sánchez, J. E.; Royce, D. J. Eds. La biología y el cultivo de Pleurotus spp. México, Editorial Limusa, 2001. P. 205-224.
18. GÓMEZ C., F. A. Estudio del cultivo de los hongos Pleurotus ostreatus y Pleurotus sajor-caju en pulpa de café. Manizales, Universidad Católica de Manizales. Facultad de Ciencias de la Salud, 1997.

- 150 p. (Tesis: Bacteriólogo y Laboratorista Clínico).
19. GUZMÁN, G., MARTÍNEZ, D. El cultivo de los hongos comestibles sobre la pulpa de café en Méjico. In: Simposio Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos de Café, 3. Guatemala, Febrero 16-18, 1987. Memorias. Guatemala, ICAITI-ANACAFE-PNUMA, 1987. P. 68-75.
20. HERRERA Y S., R. Ensilaje de pulpa de café. In: Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera, 2. Manizales, Noviembre 4-7, 1991.
21. IZURIETA A., B. Pruebas preliminares de producción de esporocarpos de *Pleurotus ostreatus* sobre pulpa de café. In: Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera, 2. Manizales, Noviembre 4-7, 1991.
22. JARAMILLO L., C. Informe semestral de actividades. Chinchiná, CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial, 2000. 55 p.
23. LABORDE, J.; DELMAS, J. Un nouveau champignon comestible cultivé. *Le Pleurote* 1: 631-652. 1974.
24. LABORDE, J. Propositions pour une amélioration de la culture des pleurotus. P. H. M. *Revue Horticole*. N° 278. 1987.
25. LOZANO, J.C. Producción comercial del champiñón *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café. *Fitopatología Colombiana* 14(2): 42-47. 1990.
26. MARTÍNEZ C., D. El cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre la pulpa de café. In: Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera, 2. Manizales, Noviembre 4-7, 1991.
27. MARTÍNEZ C., D.; GUZMAN, G.; SOTO, C. The cultivation of *Pleurotus ostreatus* on agricultural-wastes. IV. The effect of fermentation of coffee pulp in the cultivation of *Pleurotus ostreatus* in Mexico. *Mushroom Newsletter for the Tropics* 6(1): 21-28. 1985.
28. MILES, P. G.; CHANG, S. T. Biología de las setas. Fundamentos básicos y acontecimientos actuales. Santafé de Bogotá, World Scientific, 1999. 206 p.
29. MORALES G., E. L. Producción de *Pleurotus flabellatus* utilizando desechos agroindustriales. In: Simposio sobre Fermentaciones en Sustratos Sólidos. Tegucigalpa, Agosto 2-4, 1982.
30. MUEZ, M. A.; PARDO, J. La preparación del sustrato. In: Sanchez, J. E.; Royse, D. J. Eds. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. México. Editorial Limusa, 2001. p. 157-186.
31. MUSHWORLD. *Mushroom Grower's Handbook* 1. Oyster Mushroom Cultivation. Korea, MushWorld - Heineart Inc., 2004. 298 p.
32. OSORIO, H. J. Estudio comparativo de las fracciones esterólicas del hongo *Pleurotus sajor caju* cultivado en desechos del café (pulpa, aserrín de tallo y su mezcla). Bogotá, Universidad Nacional. de Colombia, 2004. 52 p.
33. PARDO, J. Conceptos básicos en torno a la preparación de sustratos para cultivo de setas *Pleurotus* spp. Cuenca (España), Centro de Investigación, Experimentación y Servicios del Champiñón - C.I.E.S., s.f. 20 p.
34. PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Buenas Prácticas de Manufactura, Programa de Saneamiento y Plan HACCP para el proceso del café en la finca. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería de Alimentos, 2001. 360 p.
35. QUIMIO, T. H. Preparación de la semilla. In: Sánchez, J. E.; Royse, D. J. Eds. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. México, Editorial Limusa, 2001. p. 141-156.
36. RAJARATHNAM, S.; BANO Z. Biological utilization of edible fruiting fungi. In: Arora, D.; Mukerji, K.; Math, E. Eds. *Handbook of applied mycology. Foods and feeds*. Volume 3. New York, Marcel Dekker, 1991. p. 241-292.
37. RESTREPO, J.A. Caracterización química de pulpa de café colombiano antes y después de emplearla como sustrato en la producción del hongo comestible *Pleurotus*



- ostreatus. Medellín, Universidad de Antioquia, 1990. 43 p. (Tesis: Químico).
38. RODRÍGUEZ, N. Ensilaje de pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 313:1-8. 2003.
39. RODRÍGUEZ, N. Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el cultivo e industrialización del café para la producción de hongos comestibles y medicinales. Valencia (España), Universidad Politécnica de Valencia, 2003. 140 p.
40. RODRÍGUEZ, N. Informe anual de actividades 2001 - 2002. Chinchiná, CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial, 2002. 113 p.
41. RODRÍGUEZ, N. Informe anual de actividades 2000 - 2001. Chinchiná, CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial, 2001. 75 p.
42. RODRÍGUEZ, N.; GÓMEZ, F.A. Cultivo de hongos comestibles en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 285:1-8. 2001.
43. RODRÍGUEZ, N. Investigación básica en el cultivo de hongos tropicales sobre residuos agroindustriales presentes en la zona cafetera. Chinchiná, Cenicafé. Disciplina de Química Industrial, 2000. 90 p. (Experimento QIN-36-01)
44. RODRÍGUEZ, N.; ZULUAGA, J. Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* en pulpa de café. Cenicafé 45(3):81-92. 1994.
45. RODRÍGUEZ, N. Informe anual de actividades 1992-1993. Chinchiná, CENICAFÉ. Disciplina de Química Industrial, 1993. 91 p.
46. ROYSE, D. J. Cultivation of oyster mushrooms. Pennsylvania, College of Agricultural Sciences. The Pennsylvania State University. University Park, 2003.
47. SADEGHIAN, S. Requerimientos nutricionales del cafeto y la fertilización orgánica. In: Seminario sobre Tecnología para la Producción y Beneficio de Café Orgánico. Chinchiná, Julio 22-24, 2002. Chinchiná, CENICAFÉ - ICONTEC, 2002. p. 37-39.
48. SÁNCHEZ, H. Volúmenes de producción de subproductos, costos e impacto social y ambiental. In: Seminario "Manejo de Subproductos Agroindustriales y Recursos no Convencionales en la Alimentación Animal". Palmira, Octubre 27-28, 1995. Palmira, Universidad Nacional, 1995. p. 1 - 12.
49. SÁNCHEZ, J. E.; ROYSE, D. J. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. México, Editorial Limusa, 2001. 290 p.
50. SANZ C., L. A. Conservación postcosecha y estudios de consumidor de hongos comestibles del género *Pleurotus*. Chinchiná, Cenicafé. Disciplina de Química Industrial, 1995. 94 p. (Experimento QIN-09-20).
51. STAMETS, P. Growing gourmet and medicinal mushrooms. Berkeley, Ten Speed Press, 1993. 552 p.
52. USDA. Economics and statistics system. Mushroom Industry Repor. Albert R. Mann Library. On line. Internet. Septiembre de 1999. Disponible en <http://usda.mannlib.cornell.edu/data-set/specialty/94003/>. Fecha consulta Mayo 18 del 2000.
53. VARÓN L., M. Cultivo de hongos tropicales en residuos agroindustriales del Departamento del Tolima. Ibagué, Universidad del Tolima, 2004. 114 p.
54. VEDDER, P. J. C. Cultivo moderno del champiñón. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 1986. 374 p.
55. ZADRAZIL, F. Cultivation of *Pleurotus*. In: Chang, S. T. ; Hayes, W.A. Eds. The biology and cultivation of edible mushrooms. New York, Academic Press, 1978. pp. 521 - 557.
56. ZADRAZIL, F. The ecology and industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae*, and *Pleurotus eryngii*. Mushrooms Science. IX (Part I) In: International Scientific Congress on the Cultivation of Edible Fungi, 9. Tokyo. Proceedings. s.l., s.e., 1974. p. 621-652.
57. ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J.D.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 20:1-26. 1999.

9. GLOSARIO

- Abiótico:** Relativo a factores físicos, químicos, o ambientales.
- Aeróbico, Aerobio:** Se refiere a organismos o fermentaciones que requieren la presencia de aire para su supervivencia u ocurrencia.
- Agar:** Se refiere a un extracto de alga, en polvo, usado para solidificar medios nutritivos.
- Anaeróbico, Anaerobio:** Se refiere a organismos o fermentaciones cuya supervivencia u ocurrencia sucede en ausencia de aire.
- Asa:** Implemento utilizado en microbiología, consistente en un alambre con un extremo recto o circular y que se utiliza para transferir esporas en solución o micelio de los hongos a medios de cultivo para su multiplicación.
- Aséptico:** Corresponde a la descripción de una condición y objeto en el cual los organismos indeseables son eliminados.
- Autoclavado:** Es la acción de esterilizar materiales utilizando un autoclave.
- Autoclave:** Se refiere a un recipiente especialmente diseñado para esterilizar materiales y medios de cultivo, utilizando vapor de agua a presión.
- Basidiomicetos:** Grupo de hongos que producen sus esporas externamente sobre los llamados basidios y a los cuales pertenecen los hongos *Pleurotus* spp.
- Biodigestor:** Se refiere a un recipiente, generalmente fabricado de lona, el cual se utiliza para el tratamiento biológico de aguas residuales muy contaminadas con materia orgánica o para el tratamiento de excretas de animales.
- Biótico:** Relativo a factores biológicos, como organismos y virus.
- Borra de café:** Es el subproducto que se genera cuando se extraen los solubles presentes en el grano de café torrefactado.
- Café deteriorado:** Co-rresponden a granos defectuosos o defectos del café, que hacen que éste no se deba utilizar para la preparación de la bebida por impartirle mal sabor.
- Cámara de flujo laminar:** Es un equipo al cual el aire llega filtrado, permitiendo crear, en su interior, un ambiente estéril que facilita la siembra de los hongos en el laboratorio.
- Carpóforo:** Parte emergente de los hongos superiores que es asiento de los órganos de reproducción.
- Cepa:** Micelio de los hongos conservado en tubos de ensayo conteniendo medios nutritivos.

Cloruro de benzalconio: Desinfectante utilizado en el cultivo de los hongos y cuya estructura química corresponde a una sal cuaternaria de amonio.

Composte: Mezcla de sustrato que ha tenido una descomposición con la ayuda de algunos microorganismos.

Composte agotado: Sustrato remanente después de que termina el proceso de cultivo de los hongos.

Crioconservación: Técnica de preservación de las cepas de hongos que utiliza bajas temperaturas, como la suministrada por el nitrógeno líquido (-196°C).

Cultivo puro: Cultivo aislado de un microorganismo sin que contenga ningún otro.

Dípteros: Se refieren a los insectos que solo tiene dos alas membranosas, que son las anteriores, con las posteriores transformadas en balancines y con aparato bucal dispuesto para chupar, como la mosca. Las larvas de algunas especies de estos insectos se alimentan de tejidos fúngicos.

DQO: Demanda Química de Oxígeno. Es una medida de la contaminación orgánica presente en un agua residual. Valores superiores a 300 ppm crean daño importante en el ecosistema acuático.

Enzima: Sustancia orgánica que actúa como catalizador sobre compuestos orgánicos para modificarlos en la fermentación.

Especie: Unidad fundamental de la biología taxonómica. En el presente trabajo se refiere a los diferentes hongos Pleurotus.

Espora: Estructura por la cual se reproducen los hongos, equivalentes a las semillas de las plantas, capaces de germinar y reproducirse.

Estadio: Fase o período de desarrollo de un organismo.

Esterilización: Proceso para la completa eliminación de todos los organismos dentro del sustrato o material. Usualmente realizada con vapor de agua sin o bajo presión, calor seco (estufa) o productos químicos.

Estipe, Estípite: Parte del hongo que sostiene el píleo. Tallo del hongo.

Etapas de fructificación: Etapas en las cuales se produce la formación de los cuerpos reproductores de los hongos, que permiten su reproducción de forma sexual.

Fermentación: Proceso de adaptación biológica del sustrato por medio de microorganismos anaerobios.

Formulación: Se refiere al porcentaje de participación de cada uno de los subproductos para conformar el sustrato de cultivo.

Gas Carbónico (CO₂): Se refiere al anhídrido carbónico que se produce por el proceso metabólico de los hongos.

Hifa: Parte del hongo, en forma de fibra. Crece en la extremidad, por tramos, tiene forma tubular.

Hongo: Organismo formado por unas estructuras llamadas hifas que contienen núcleo. Se reproducen sexual y asexualmente, no tienen clorofila y obtienen

energía de compuestos orgánicos. Son llamados vegetales heterótrofos (que no pueden sintetizar su propio alimento)

Hongo parásito: Aquel que se desarrolla a expensas de un organismo vivo, el cual puede ser vegetal, animal u otro hongo.

Hongo saprófito: El que se desarrolla sobre materiales orgánicos muertos o en proceso de descomposición.

Hongo tropical: Se refiere a géneros de hongos que pueden ser cultivados bajo condiciones del trópico.

Humedad relativa: Es la cantidad de humedad en el aire comparada con la máxima cantidad que el aire puede contener a la misma temperatura, expresada como porcentaje.

Incubación: Se refiere al período después de la inoculación, cuando el micelio invade el sustrato.

Inoculación: Acción de transferir el inóculo (micelio crecido en granos de cereal) sobre el sustrato.

Inóculo: Se refiere a la semilla comercial del hongo.

Lignina: Sustancia orgánica que forma el tejido leñoso, constituyente de las paredes celulares y que es degradada por hongos de la pudrición blanca (*Pleurotus* spp.).

Lignocelulósico: Se refiere a compuestos orgánicos en los cuales la celulosa está ligada a la lignina.

Lux: Unidad de iluminación en el sistema Internacional, que equivale a la iluminación de una superficie que recibe, normal y

uniformemente repartido, un flujo luminoso de un lumen por metro cuadrado.

Materia seca: Se refiere a la cantidad de materia exenta de agua.

Medio de cultivo: Solución o sustrato para el cultivo o crecimiento del micelio. Los más utilizados en la presente investigación fueron: PDA(papa dextrosa agar) y EMA(agar extracto de malta).

Micelio: Red o masa de hifas, el cuerpo vegetativo o estructura del hongo.

Moho: Crecimiento gris o blanco de un hongo sobre la superficie de un organismo vivo o muerto. En este trabajo se utiliza para describir hongos contaminantes que no forman cuerpos re-productores.

pH: Medida de la concentración de iones hidrógeno, o sea la acidez del medio. Un pH 7 denota neutralidad, más alto es alcalino y menor es ácido.

Píleo: Sombrero del cuerpo reproductor.

Pleurotus spp.: Se refiere, en general, a hongos del género *Pleurotus*, sin tener en cuenta la especie.

ppm: Partes por millón, equivalente a miligramos/Litro, es una medida de concentración.

Primordio: Agregaciones hifales que forman estructuras semejantes a cabezas de alfiler y son el inicio del desarrollo del hongo.

Pulpa: Es la parte externa del fruto (epicarpio o exocarpio).

Rizomorfo: Agregado micelial de consistencia dura.



Semilla Madre: Se refiere al inóculo del hongo preparado sobre granos de cereal a partir de cultivos multiplicados en agar.

Semilla de Siembra: Se refiere al inóculo del hongo preparado sobre granos de cereal a partir de la semilla madre.

Setas: Cualquier especie de hongo que tenga forma de casquete sostenido por un pie.

Sombrero: Se refiere al píleo de los hongos.

Sustrato: Medio de crecimiento y soporte, compuesto por residuos agrícolas.

Tallo: Cuando está referido a los hongos se trata del pie, estipe o estípite de los mismos.

Termófilo: Organismo que crece a temperaturas altas (35 - 60°C).

Termohigrómetro: Equipo utilizado para medir la humedad relativa y la temperatura del ambiente.

Tubo de ensayo: Tubo de vidrio transparente, cerrado en un extremo, usado en experimentos biológicos y químicos.

Vanodine: Solución de yodo utilizada como desinfectante.

Vegetativo: Se refiere a las partes no reproductoras de un hongo. Un aislamiento vegetativo es el realizado con la carne o contexto del cuerpo fructífero del hongo. El crecimiento vegetativo alude al crecimiento del micelio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen un reconocimiento a los profesionales y auxiliares que formaron parte del equipo de investigación durante los años 1990 - 2003: Ana Cristina Bolaño (Bióloga), Luz Adriana Sanz (Tecnóloga en Productos Vegetales), Diana Marcela Castañeda (Practicante de Microbiología Industrial), Fernando A. Gómez (Bacteriólogo y Laboratorista Clínico), Ana Luz Arango, (Tesista de Ingeniería Industrial), Maryeimy Varón (Tesista de Biología), Héctor Jairo Osorio (Tesista de Maestría en Ciencias Químicas), Dr. Jaime Zuluaga (Químico Ph.D); a los auxiliares Wilson Vargas, Humberto Ramírez y Huberto Tobón y al apoyo de los investigadores: Dra. Gloria Inés Puerta, Dra. Esther Cecilia Montoya, Dra. Elena Velásquez, Tecnóloga Beatriz Mejía, Ing. Diego Zambrano, Técnico Uriel López y al Dr. Mario Calderón, Expresidente de la Cámara de Comercio de Manizales.

Agradecimiento especial al Ing. Diego Zambrano Franco por la revisión del texto y sus valiosas sugerencias.



Cultivo de hongos comestibles del género
Pleurotus sobre residuos agrícolas de la zona cafetera