UN PRODUCTO
Corpoica
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
libra
librería virtual agropecuaria
www.corpoica.org.co

# SUPLEMENTACIÓN PARA BOVINOS DE CARNE A PARTIR DEL ENRIQUECIMIENTO PROTEICO DEL BAGAZO DE CAÑA POR ACCIÓN DEL HONGO *PLEUROTUS OSTREATUS*

Corpoica
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Ministerio de Agricultura
y Desarrollo Rural

# SUPLEMENTACIÓN PARA BOVINOS DE CARNE A PARTIR DEL ENRIQUECIMIENTO PROTEICO DEL BAGAZO DE CAÑA POR ACCIÓN DEL HONGO *Pleurotus ostreatus*

Luis Carlos Albarracín Calderón, Patricia Martínez Nieto, Gonzalo Rodríguez Borray

Bogotá, 2011

Albarracín Calderón, Luis Carlos; Martínez Nieto, Patricia; Rodríguez Borray, Gonzalo / Suplementación para bovinos de carne a partir del enriquecimiento proteico del bagazo de caña por acción del hongo *Pleurotus ostreatus.* Colombia. Corpoica. 2011. 72 p.

Palabras clave: GANADO DE CARNE, PLEUROTUS OSTREATUS, BAGAZO, CAÑA DE AZUCAR, ALIMENTACION DE LOS ANIMALES.

Corpoica
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Ministerio de Agricultura
y Desarrollo Rural

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Cooperativa Agropecuaria de Producción y Comercialización Vivas Asociados (COOAGROVIVAS) y a la Asociación de Cañicultores Paneleros y demás productores agropecuarios (QUIPPANELA), por su entrega para el desarrollo exitoso de este proyecto. También agraden el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y de la Federación Nacional de Productores de Panela (FEDEPANELA).

A Alba Elizabeth Rivera Triviño, Jairo Ulloa Santamaría, Melissa Vanegas Hoyos, profesionales y técnicos de la oficina local de Popayán como co-ejecutores del proyecto, y a los estudiantes Natalia Castaño Gutiérrez, Nathalie Camacho Ramírez, Lucía Tibaquicha y Randol Macías Ferreira por su valiosa colaboración en la elaboración de este boletín técnico científico.

Corpoica
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

© Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica
Cl. Tibaitatá

ISBN: 978-958-740-048-9
CA: 1436 C00156
CUI: 1240
Primera edición: Enero de 2011
Tiraje: 1.400 ejemplares

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@corpoica.org.co
www.corpoica.org.co

Producción editorial:
Diagramación, impresión y encuadernación

produmedios
Producción de Medios de Comunicación
www.produmedios.org

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

# CONTENIDO


Introducción 7

1. Descripción del hongo 9
1.1. Generalidades 9
1.2. Actividad bioquímica del hongo 14
1.3. Contenido nutricional de las orellanas 16
1.4. Producción de semilla para el cultivo de orellanas 16
1.5. Cultivo artesanal de orellanas y adecuación de planta piloto 20
1.6. Mantenimiento y conservación de cepas 23
1.7. Estructura de costo de la producción de semilla y orellanas 26

2. Producción de sustrato enriquecido 33
2.1. Conceptos básicos 33
2.2. El bagazo de caña de azúcar como sustrato 36
2.3. Obtención de bagazo enriquecido 39
2.4. Acción y beneficios del hongo sobre el sustrato a base de bagazo de caña de azúcar 42
2.5. Eficacia biológica 44
2.6. Valor económico de la producción del sustrato de bagazo enriquecido 44

3. Desarrollo e implementación del suplemento para rumiantes a partir de bagazo enriquecido 47
3.1. Aspectos conceptuales 47
3.2. Formulación y elaboración del suplemento 48
3.3. Diseño y evaluación de dietas 52
3.4. Análisis económico de la suplementación 57
3.5. Recomendaciones para la implementación de un sistema de levante y ceba de bovinos en estabulación con suplementación 58

4. Perspectivas 61
5. Bibliografía 63
6. Anexos 69

# LISTA DE TABLAS


| | | |
|---|---|---|
| Tabla 1. | Clasificación Taxonómica de las orellanas | 11 |
| Tabla 2. | Composición de las orellanas | 16 |
| Tabla 3. | Estructura del costo de producción de 600 kg/mes de semilla de *P. ostreatus* | 27 |
| Tabla 4. | Costo de producción de 250 kg de hongo *P. ostreatus* (500 tubulares de 2 kg) | 30 |
| Tabla 5. | Resultados de los análisis bromatológicos realizados a bagazos de caña de azúcar procedente de dos municipios paneleros colombianos | 38 |
| Tabla 6. | Estructura de costo de producción del sustrato de bagazo de caña enriquecido nutricionalmente | 45 |
| Tabla 7. | Porcentajes utilizados para la elaboración de los dos suplementos | 49 |
| Tabla 8. | Composición nutricional de Suplebac 1 y 2 | 52 |
| Tabla 9. | Consumos diarios de bloque nutricional según peso del animal | 52 |
| Tabla 10. | Contenido nutricional de las materias primas que conformaron la dieta de los bovinos | 53 |
| Tabla 11. | Tratamientos utilizados en los municipios de Quipile (Cundinamarca) y Cajibío (Cauca) | 54 |
| Tabla 12. | Ganancia de peso diaria promedio de animales de ceba confinados en el municipio de Quipile durante 147 días | 55 |
| Tabla 13. | Estructura de producción del suplemento proteico-energético para bovinos a base de bagazo enriquecido de caña de azúcar | 58 |

# LISTA DE FIGURAS


Figura 1. Partes de los hongos denominados setas 9

Figura 2. Tres especies de *Pleurotus sp*. comúnmente utilizadas en la producción comercial: A) *P. ostreatus* B) *P. pulmonarius* C) *P. ostreatoroseus* 10

Figura 3. Ciclo reproductivo de las setas comestibles 12

Figura 4. Trigo rojo de origen canadiense utilizado en CORPOICA para la producción de semilla del hongo *Pleurotus sp* 17

Figura 5. Sustrato estéril empacado en bolsas plásticas y frascos de vidrio 18

Figura 6. Crecimiento de micelio de *P. ostreatus* (izquierda) y *P. pulmonarius* (derecha) en agar extracto de malta 19

Figura 7. Invasión del sustrato por micelio de *P. ostreatus* en frascos de vidrio y bolsas plásticas termorresistentes 19

Figura 8. Diseño realizado por el Programa de Procesos Agroindustriales de CORPOICA para la planta piloto que se adecuó en el corregimiento de la Virgen (Quipile, Cundinamarca) 22

Figura 9. Adecuaciones realizadas en Cajibío (izquierda) y Quipile (derecha) 23

Figura 10. Envés de *P. ostreatus* cepa IE 238 (izquierda) y *P. pulmonarius* IE 115 (derecha) en agar extracto de malta 24

Figura 11. Conservación en aceite mineral de las cepas *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* 26

Figura 12. Conservación en agua destilada con tres ciclos de esterilización 26

Figura 13. Células de hoja de palma de aceite antes (A) y después (B) de la acción enzimática del hongo 35

Figura 14. Etapas del proceso de pasteurización. Llenado de la olla con el sustrato para esterilizarlo (izquierda) y escurrido del agua de la olla (derecha) 39

Figura 15. Bolsa inoculada con el hongo *P. ostreatus* y con perforaciones selladas con micropore 40

Figura 16. Etapas de crecimiento del hongo *P. ostreatus*. Invasión del micelio (izquierda) y fructificación (derecha) 41

Figura 17. Producción de cuerpos fructíferos listos para cosechar 41

Figura 18. Evolución de los componentes de la pared celular del sustrato preparado con bagazo de caña de azúcar proveniente de Quipile e inoculado con *P. ostreatus* durante 45 días de evaluación 42

Figura 19. Efecto de P. ostreatus al 5 % sobre componentes estructurales de la mezcla con bagazo procedente de Cajibío 43

Figura 20. Dinámica de humedad presentada en los sustratos procedentes de Quipile y Cajibío 43

Figura 21. Procedimiento utilizado en Quipile para secar el bagazo enriquecido con micelio de *P. ostreatus* 49

Figura 22. Preparación de la mezcla mediante agitación manual 50

Figura 23. Equipo utilizado para darle dureza a los bloques 51

Figura 24. Bloque seco listo para ser consumido por el animal o para ser almacenado 51

Figura 25. Diferencias en la ganancia de peso promedio diaria entre los tratamientos utilizados en el municipio de Cajibío (Cauca) 55

Figura 26. Animales alimentados solo con dieta a base de pasto King grass 26 %, cogollo de caña 60%, jugo de caña 12 % y torta de soya 2 % (A), suplementados con nutrebloque PSP (B) y Suplebac 2 (C) en el municipio de Quipile 56

Figura 27. Corrales en Cajibío (izquierda) y Quipile (derecha) 60

# INTRODUCCIÓN

La suplementación alimenticia es una estrategia eficaz para mantener y mejorar la producción animal; sin embargo, en los últimos dos años se incrementaron los costos de los precios de algunos insumos como sales minerales y melaza. La utilización aproximada de 60.000 ha de caña de azúcar para la producción de alcohol carburante disminuyó la disponibilidad de melaza para otras actividades productivas (por ejemplo, los ganaderos la utilizan como suplemento energético para sus animales), incrementando el valor del kilogramo ciento treinta pesos ($130) m/cte a setecientos pesos ($700) m/cte.

Adicional a los altos precios de los insumos para la fabricación de suplementos, los productores de carne y leche –ubicados dentro y fuera del sistema de producción de caña de azúcar– tienen problemas relacionados con la baja disponibilidad de alimento y calidad de los forrajes durante las épocas de sequía. Esto origina una disminución en consumos de materia seca y déficit de nutrientes que afectan las diferentes etapas fisiológicas de los animales, lo que se traduce en bajos pesos y periodos prolongados de ceba. CORPOICA, con dietas a base de cogollo, ensilado de caña y suplementos proteicos (torta de soya), y trabajando con animales bajo confinamiento, observó aumentos de peso de 1.000 g/animal/día, si bien los costos de esta suplementación se han incrementado. Por tanto, se hace necesario el desarrollo de nuevas tecnologías en la elaboración de alimentos o suplementos no convencionales para la alimentación animal con alto contenido de proteína a partir de otros recursos del trópico, como pueden ser los residuos de cosecha, que disminuirían los costos de producción haciendo más competitivo al gremio ganadero en el marco de los tratados de libre comercio firmados actualmente por Colombia.

La superficie sembrada en caña es aproximadamente de 426.000 hectáreas, de las cuales el 61 % se utiliza en la producción de panela y el 39 % restante para la producción de azúcar, alcohol carburante, miel y también como forraje. De estos procesos productivos se obtiene como subproducto alrededor de un 50 % de bagazo.

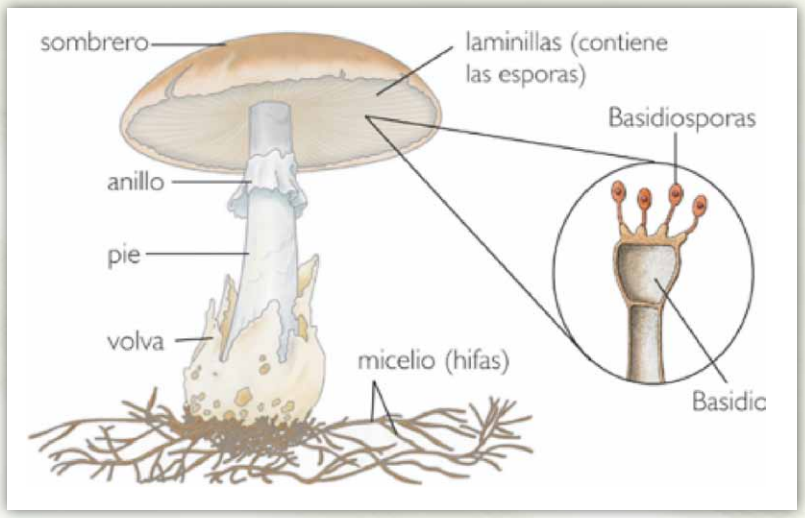
El bagazo de caña de azúcar, al igual que otros residuos vegetales, contiene en su pared celular celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo esta última –por su baja digestibilidad– un limitante en la alimentación animal. Entre los tratamientos utilizados para aumentar la digestibilidad de sustratos con alto contenido de lignina se dispone de la inoculación de hongos comestibles como *Pleurotus* sp. Este tratamiento permite el aumento de la fermentación de la fibra y del valor nutritivo del sustrato por su alto contenido en proteínas, vitaminas y minerales.

Por tal razón CORPOICA, en alianza con la Cooperativa Agropecuaria de Producción y Comercialización Vivas Asociados (COOAGROVIVAS) y la Asociación de Cañicultores Paneleros y demás productos agropecuarios (QUIPPANELA), junto con el apoyo financiero del MADR y la Federación Nacional de Productores de Panela (FEDEPANELA), desarrollaron el proyecto "Enriquecimiento nutricional de la caña y sus productos para su inclusión en sistemas de alimentación animal de ganado de carne en zonas paneleras del occidente de Cundinamarca y departamento del Cauca", cuyo objetivo general fue el evaluar alternativas para mejorar la digestibilidad de nutrientes del bagazo usado como sustrato mediante la inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus* y enriquecimiento con otros productos del proceso de obtención de la panela. Los resultados obtenidos en dicho proyecto se describen en este boletín técnico científico, mostrando la obtención de dos suplementos proteico-energéticos a partir del bagazo enriquecido por el hongo P. ostreatus para ganado bovino de carne y como valor agregado para las asociaciones beneficiarias del proyecto "La producción de orellanas para el consumo humano".

# 1. DESCRIPCIÓN DEL HONGO

## 1.1. Generalidades

Los hongos denominados setas son aquellos que poseen forma de sombrilla, constituidos por un tallo (estipe) y un sombrero (carpóforo), dentro del cual se encuentran unas estructuras conocidas como laminillas donde se alojan las basidiosporas o unidades reproductivas de los hongos dentro de basidios (Figura 1). Por tanto, lo que se denomina seta es en realidad su aparato reproductor. En el hongo también se debe diferenciar la parte vegetativa que se encuentra bajo tierra o invadiendo un sustrato (material donde se desarrolla el hongo), la cual está formada por un conjunto de filamentos o hifas conocido como micelio, que se encarga de absorber minerales del suelo o sustrato donde crecen para su alimento.




Tomado de: Las Jarillas (2009)

**Figura 1.** Partes de los hongos denominados setas

Se han encontrado más de 5.000 setas comestibles, entre las que está el hongo perteneciente al género[1] *Pleurotus* spp., el cual es uno de los más

1 / Unidad sistemática para la clasificación de organismos. Jerárquicamente, es una categoría taxonómica que se ubica entre familia y especie; así, un género es un grupo que reúne a varias especies emparentadas.

cultivados en el mundo por su gran valor nutritivo y calidad gastronómica. Diferentes especies de este hongo junto con *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes* abarcan el 70 % de la producción mundial.

El *Pleurotus* spp. se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza, principalmente en ecosistemas forestales; se caracteriza por poseer un carpóforo de superficie lisa y brillante, que mide regularmente de 4 a 13 cm de diámetro y cuando madura adquiere forma de concha, las láminas son blancas o de color crema, en las cuales se disponen los basidios con 4 basidiosporas blanquecinas elípticas. Entre las especies más cultivadas de este hongo se encuentran *P. ostreatus, P. pulmonarius, P. sajor-caju, P. cornucopiae* y *P. ostreatoroseus* (Figura 2). Estos hongos también son conocidos como "de la pudedumbre blanca" debido a su capacidad de degradar lignina, razón por la que pueden crecer en una gran cantidad de residuos vegetales y agroindustriales como paja de trigo, algodón, café, caña de azúcar, coco, maíz, buchón de agua o elodea brasilera, entre otros.

Tomado de: Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos de la Universidad Federal de Santa Catarina (2004), Orthof et al. (2009) y Kuo (2010).

**Figura 2.** Tres especies de *Pleurotus* sp. comúnmente utilizadas en la producción comercial: A) *P. ostreatus* B) *P. pulmonarius* C) *P. ostreatoroseus*.

**1.1.1. Taxonomía del hongo *Pleurotus*.** La taxonomía biológica es la ciencia que estudia las relaciones de parentesco entre los organismos y su historia evolutiva. Esta disciplina ordena los organismos en un sistema de clasificación compuesto por una jerarquía de taxones[2] relacionados. Actualmente, la taxonomía actúa después de haber resuelto el árbol filogenético[3] de los organismos estudiados. Ahora existe el consenso en la comunidad científica de que la clasificación debe ser enteramente consistente con lo que se sabe de la filogenia[4] de los taxones.

2 / Grupo de organismos emparentados que han sido agrupados
3 / Árbol que muestra las relaciones evolutivas entre varias especies u otras entidades que se cree tienen una ascendencia común en función de las relaciones de parentesco entre ellos.
4 / Determinación de la historia evolutiva de los organismos.

Dominio es la más alta categoría taxonómica de organismos. En el caso de los hongos comestibles silvestres, estos pertenecen a las Eucariotas o Eukarya[5]. La mayoría de hongos comestibles –como las orellanas– pertenecen al filo[6] Basidiomycotina. El género es como el apellido, y va la primera letra en mayúscula y en cursiva (Ej. *Pleurotus*); mientras que la especie es como el nombre, se escribe en minúscula después del género y en cursiva (*Pleurotus ostreatus*). Cuando ya se ha nombrado por primera vez el género después solo se coloca la abreviatura, que casi siempre es la primera letra seguida de punto y después la especie (*P. ostreatus*).

Comprendiendo lo anterior, la clasificación taxonómica de las orellanas se puede observar en la Tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación Taxonómica de las orellanas**

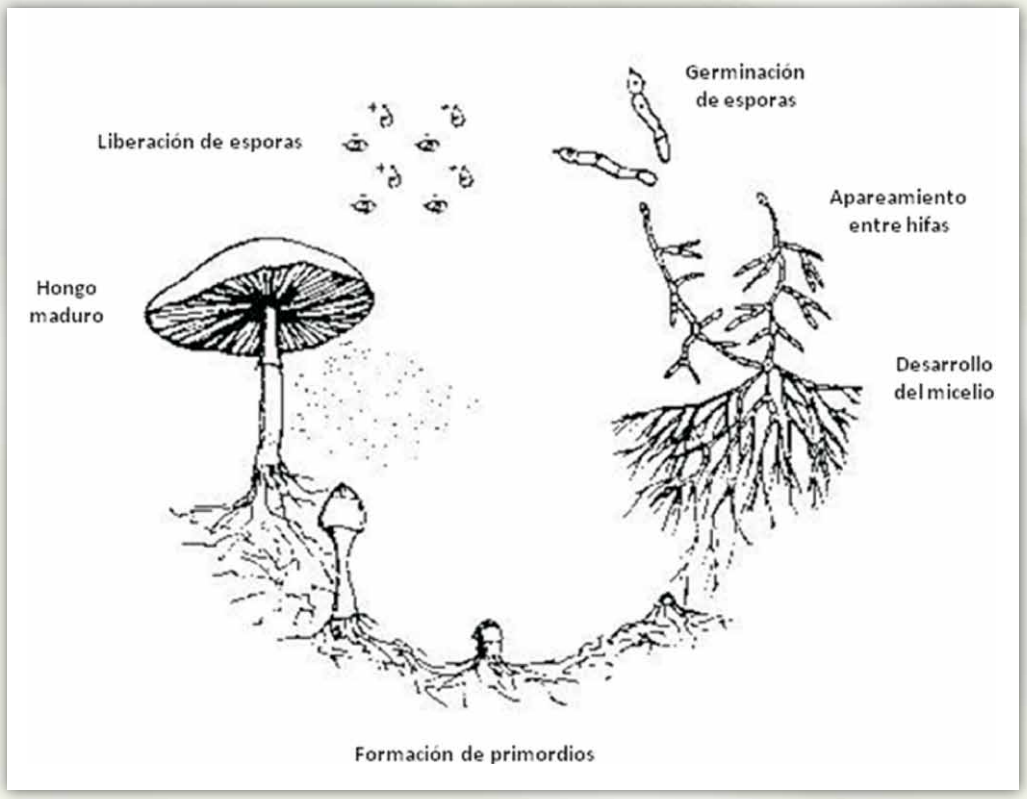
| Nivel jerárquico | Nombre |
|---|---|
| Dominio | Eukarya |
| Reino | Fungi |
| Subreino | Dikaria |
| Filo | Basidiomycota |
| Subfilo | Hymenomycotina |
| Clase | Agaricomycetes |
| Subclase | Agaricomycetidae |
| Orden | Agaricales |
| Familia | *Pleurotaceae* |
| Género | *Pleurotus* |
| Especies | *P. ostreatus*<br>*P. pulmonarius*<br>*P. cornucopiae*<br>*P. columbinus*<br>*P. cystidiosus*<br>*P. salmoneostramineus*<br>*P. calyptratus*<br>*P. corticatus*<br>*P. dryinus*<br>*P. eryngii*<br>*P. nebrodensis*<br>*P. smithii*<br>*P. ulmarius* |

En un estudio, al realizar pruebas de compatibilidad para determinar la variabilidad genética entre las especies o su relación biológica se determinaron cinco complejos: *P. ostreatus, P. pulmonarius, P. cornucopiae, P. cystidiosus*

5 / Organismos con núcleo verdadero. Sus células se organizan en estructuras complejas incluidas dentro de membranas.
6 / Nivel taxonómico entre reino y clase

*y P. salmoneostramineus*. En el complejo *P. ostreatus* se incluyen los taxones *P. ostreatus*, *P. ostreatus* var. columbinus, *P. djamor* y *P. flabellatus*; el complejo *P. pulmonarius* comprende *P. pulmonarius, P. eugrammus, P. eugrammus* var. *brevisporus, P. sajor-caju, P. sapidus, P. florida* y *P. opuntiae*; el complejo *P. cornucopiae* incluye la variedad *P. cornucopiae* var. *Citrinopileatus*; al complejo *P. cystidiosus* pertenece la especie *P. abalonus*; y por su parte, el complejo *P. salmoneostramineus* incluye tres especies rosadas: *P. salmoneostramineus, P. ostreatoroseus* y *P. rhodophyllus*.

**1.1.2. Reproducción.** Los hongos se reproducen por esporas que son lanzadas al exterior al abrirse el carpóforo para la propagación de la especie. La espora es transportada por el viento y depositada en un lugar favorable con condiciones adecuadas, las que permiten que la espora germine formando un largo filamento de células vivas denominado hifa, que crece a partir de su extremo con el fin de deslizarse hacia adelante. El material vegetal encontrado en su camino es descompuesto por medio de enzimas liberadas al exterior de la hifa, y los nutrientes liberados son absorbidos y utilizados para sustentar el crecimiento y la fructificación.




Tomado de: López *et al.* (2008)

**Figura 3.** Ciclo reproductivo de las setas comestibles

La reiterada ramificación y el crecimiento de las hifas forman una extensa red de células llamada micelio, y el desarrollo de este da lugar a los primordios, que originan los cuerpos fructíferos; estos contienen láminas en donde se encuentran los basidios. Los basidios son células especializadas en forma de bolsa, en cuyo extremo se desarrollan 4 basidiosporas. En la mayoría de las setas se forman cientos de miles de basidios que producirán millones de esporas que son liberadas una vez han madurado para posteriormente ser esparcidas por el viento, iniciando nuevamente el ciclo (Figura 3).

**1.1.3. Factores ambientales que influyen en el crecimiento del hongo.** Para el crecimiento vegetativo y reproductivo de los hongos se necesita un ambiente apropiado. Los factores ambientales que afectan el cultivo de los hongos incluyen la temperatura, humedad, luz y ventilación. Los niveles óptimos de los mismos durante el crecimiento vegetativo difieren de los del reproductivo; por ejemplo, *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* para el desarrollo del micelio y formación de primordios necesitan una temperatura entre 10-16 °C y 10-24 °C respectivamente, mientras que para los cuerpos fructíferos debe estar entre 10-21 °C y 18-24 °C respectivamente.

El micelio de este hongo puede crecer en una temperatura entre 0 y 35 °C, con temperatura óptima de 20-30 °C y en un rango de pH entre 5,5 y 6,5. Se ha observado que después de cosechar los cuerpos fructíferos en los materiales usados como sustratos, las cantidades finales de hemicelulosa, celulosa y lignina se han reducido en un 80 %, lo que sugiere que todos los materiales que contienen estos compuestos pueden ser usados como sustratos para *Pleurotus* spp.

Durante el periodo de producción, el contenido de humedad en el sustrato para el desarrollo de los hongos debe estar entre el 70 y el 75 %, la fructificación suele darse en condiciones normales cuando se tiene un 20 % de oxígeno y una concentración de CO2 no mayor de 800 ppm en el ambiente que circunda al hongo, y la humedad relativa óptima para dicha fructificación debe ser de 90 a 95 %.

**1.1.4. Importancia del hongo.** Estos hongos son saprofitos y pueden utilizar casi todos los residuos agrícolas como sustratos. Su importancia radica tanto en las propiedades nutricionales y medicinales, como en las excelentes cualidades organolépticas y en el complejo enzimático –muy útil a nivel industrial–. La estructura química compleja de los hongos les permite permanecer a la intemperie por largos periodos sin ser degradados o sufrir mayores transformaciones; por tal razón, para la producción de estos hongos se

utiliza una gran variedad de residuos de la industria agrícola y de alimentos, los cuales son transformados en una diversidad de productos (alimento comestible y medicinal, piensos y fertilizantes) y ayudan a proteger y regenerar el ambiente. La eficiencia del hongo para convertir sustratos a proteínas es superior a algunas plantas e incluso animales.

Estos hongos sirven para consumo humano y son considerados nutracéuticos ("alimentos que sirven para curar") por sus propiedades medicinales y farmacéuticas (metabolitos[7] antitumorales, antioxidantes, inmunoestimulantes y antimicrobiales). Los cuerpos fructíferos contienen varias clases de sustancias que son altamente valoradas como medicinales, saborizantes y en la industria de perfumes. Son considerados como comida saludable por ser bajos en calorías, grasas y colesterol; a su vez son ricos en proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales.

La propiedad de hongos comestibles para utilizar moléculas de alto peso molecular difíciles de degradar presente en diversos desechos agrícolas, se ha utilizado en la industria para la producción masiva de proteína muy digerible y jarabes de glucosa para alimentación animal.

## 1.2. Actividad bioquímica del hongo

Las especies del género *Pleurotus* spp. poseen enzimas extracelulares capaces de degradar componentes de la pared celular como celulosa, lignina y hemicelulosa. Se ha demostrado que cuando *Pleurotus* sp. y otros hongos de la podedumbre blanca son cultivados en sustratos lignocelulolíticos, produce enzimas[8] como celulasas (endoglucanasa, celobiohidrolasa, â-glucosidasa), xilanasas, lacasa (fenol oxidasa), manganeso peroxidasa (MnP) y lignina peroxidasa. Esta capacidad enzimática también le permite a P. ostreatus metabolizar y mineralizar hidrocarburos policíclicos aromáticos, colorantes artificiales causantes de contaminación ambiental en industrias textiles o decolorar efluentes procedentes del cultivo de caña de azúcar o de destilería. Esa maquinaria enzimática que posee los hace promisorios para otras aplicaciones biotecnológicas, incluyendo la alimentación animal.

Normalmente los hongos de la podedumbre blanca atacan simultáneamente la celulosa y lignina, convirtiendo esta última hasta un 70 % en CO2 y

7 / Cualquier molécula utilizada o producida durante el metabolismo (Conjunto de reacciones bioquímicas y procesos físico-químicos que ocurren en una célula y en el organismo para la obtención o intercambio de materia y energía, como la producción de macromoléculas).
8 / Moléculas de proteínas que tienen la capacidad de facilitar y acelerar las reacciones químicas que tienen lugar en los tejidos vivos.

H2O. Existen evidencias de que la energía requerida para la degradación de la lignina es obtenida de fuentes accesibles como polisacáridos y azúcares de bajo peso molecular; sin embargo, concentraciones elevadas de estos compuestos pueden reprimir la ligninolisis. Otros elementos como el oxígeno, cobre, azufre y nitrógeno juegan un papel muy importante en la inhibición de esta actividad enzimática. La degradación de la lignina es un proceso estrictamente oxidativo; por tanto, la concentración de oxígeno es clave para una buena degradación, lo mismo que la presencia de inductores metálicos que hacen que la actividad enzimática sea más eficiente o que se frene, como es el caso de exceso de cobre y azufre en el medio. Por otro lado, se ha observado que medios ricos en nitrógeno inhiben la degradación del compuesto.

Recientemente dos enzimas oxidativas han recibido gran atención: lacasas (fenoloxidasas) y peroxidasas (lignina peroxidasa y manganeso peroxidasa). Las lacasas son enzimas oxidativas multicobre, las cuales catalizan la oxidación de compuestos fenólicos encontrados en plantas y hongos. En hongos, las lacasas, además de jugar un papel importante en la de-lignificación, también participan en la esporulación y producción de pigmentos. Se ha observado que *Pleurotus* spp. puede perder la actividad de lignina peroxidasa indicando que otras enzimas están envueltas en la degradación de lignina, y entre estas enzimas, las lacasas son claves. Resultados de investigaciones con enzimas secretadas por *Pleurotus ostreatus* han demostrado que la acción conjunta de lacasa y aril-alcohol oxidasa produce una reducción significativa de la masa molecular de lignosulfatos solubles.

El *Pleurotus ostreatus* en laboratorio ha degradado eficientemente compuestos lignocelulósicos, mostrando una degradación preferencial de lignina. La actividad de lacasa y otras enzimas ligninolíticas se han relacionado con la fase estacionaria de crecimiento del hongo y desencadenan su acción debido a limitaciones de nutrientes. No obstante, estudios sugieren que otros mecanismos pueden estar involucrados durante la fase exponencial de crecimiento, especialmente cuando esta actividad aparece relacionada con la producción de biomasa, ya que en *Pleurotus ostreatus* cepa V-184 la máxima actividad de la lacasa se encontró durante el crecimiento fúngico. En adición a las lacasas *Pleurotus ostreatus* cepa V-184 produce actividad aril- alcohol oxidasa, que es una enzima constitutiva porque aparece en diferentes fases de crecimiento y condiciones de cultivo. Aunque las relaciones entre ellas no se han determinado, se cree que actúan sinérgicamente en la degradación de lignina.

## 1.3. Contenido nutricional de las orellanas

*Pleurotus* spp. (orellanas) son ricos en proteínas, con valores que oscilan entre 27,3 a 42,5 %, fibra, carbohidratos, vitaminas y minerales (Tabla 2). La calidad de las proteínas es similar a las de origen animal con una gran cantidad de aminoácidos esenciales, menos de triptófano. La proporción entre ácidos grasos saturados e insaturados es 14:86 en el carpóforo; siendo el ácido oleico su principal ácido graso.

**Tabla 2. Composición de las orellanas**

| Parámetro | Unidad | Valores |
|---|---|---|
| Humedad | % | 84,70 – 91,90 |
| Carbohidratos | % | 40,6 – 53,3 |
| Proteína cruda | % | 27,3 – 42,5 |
| Aminoácidos | % | 1,08 |
| Grasa | % | 1,1 – 8,0 |
| Celulosa | % | 28,5 – 41,0 |
| Hemicelulosa | % | 13,9 – 39,3 |
| Lignina | % | 14,0 – 20,2 |
| Fibra cruda | % | 14,1 – 20,2 |
| Calcio | Mg/g | 0,189 – 2,45 |
| Hierro | Mg/g | 0,25 – 12,2 |
| Potasio | Mg/g | 8,10 – 24,0 |
| Magnesio | Mg/g | 1,52 – 14,3 |
| Sodio | Mg/g | 0,02 – 2,5 |
| Fósforo | Mg/g | 5,87 – 218 |

Tomado de: Ragunathan y Swaminathan (2003)

Así mismo, se ha encontrado que tiene propiedades antibacteriales, antivirales, antitumorales, hematológicas, y ayuda en la reducción de los niveles de colesterol.

La composición química de *P. ostreatus* consta de apreciables cantidades de aminoácidos esenciales -excepto de triptófano- y la calidad de las proteínas es similar a la de origen animal. El principal ácido graso en el cuerpo fructífero es el ácido oleico y la proporción entre en los ácidos grasos saturados e insaturados es 14:86 respectivamente. Entre los principales ácidos orgánicos están el ácido fórmico, málico, acético y cítrico.

## 1.4. Producción de semilla para el cultivo de orellanas

La producción de semilla constituye la base para el cultivo comercial de setas, y se refiere a la propagación o desarrollo masivo del hongo en granos

de gramíneas, principalmente sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) o trigo (*Triticum aestivum* L.).

**1.4.1. Características generales del sustrato utilizado para la elaboración de semilla.** El trigo es una gramínea de crecimiento anual y altura promedio de un metro. Sus tallos son delgados rematados por espigas, de cuyos granos molidos se saca la harina. El grano se puede diferenciar por su dureza (muy duros, duros, suaves y blandos) y color (ambarinos, rojos y blancos). Los principales exportadores de trigo son Canadá, Estados Unidos, Argentina, Rusia, Australia y Ucrania. Canadá es el mayor exportador de trigo rojo duro de primavera del mundo y es conocido por sus excelentes características de molienda y panificación, con una pérdida mínima de proteína en la molienda. Este trigo se vende en tres clases distintas; las dos superiores, CWRS 1 y 2, se subdividen a su vez de acuerdo al nivel de proteína y el productor garantiza su contenido proteico mínimo.

Durante el desarrollo del proyecto en CORPOICA se utilizó el trigo rojo de origen canadiense (Figura 4) para la elaboración de la semilla utilizando *Pleurotus* sp. Este trigo trae un 2 % de materiales diferentes a los cereales y entre un 1,5-2,5 % de contenido de las tres clases de trigo.

**Figura 4.** Trigo rojo de origen canadiense utilizado en CORPOICA para la producción de semilla del hongo *Pleurotus* sp.

**1.4.2. Preparación del sustrato.** En la elaboración de semilla es necesario acondicionar el sustrato para permitir el posterior desarrollo del hongo. El trigo se debe cocinar en agua y azúcar al 1 %, que permita hidratar los granos alre-

dedor del 50 %. Una vez terminado este proceso, el trigo se deja escurrir y enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se agrega carbonato de calcio al 1 %, se empaca en material de vidrio o plástico resistente a altas temperaturas (polipapel 18 x 25 cm) y se somete a tres ciclos de esterilización con autoclave[10]. Los sustratos así preparados están listos para que se les agregue el hongo.

En CORPOICA se probaron las dos técnicas de empaque para la producción de semilla (Figura 5), donde se observó que las bolsas plásticas para empacar el sustrato son más recomendables que los frascos de vidrio gracias a su precio, resistencia al calor y manipulación de la semilla.

**Figura 5.** Sustrato estéril empacado en bolsas plásticas y frascos de vidrio.

**1.4.3. Inoculación[11] de *Pleurotus* spp.** En CORPOICA se utilizaron dos especies de *Pleurotus* sp. para obtener la semilla del hongo: *P. ostreatus* y P. *pulmonarius*. Para el crecimiento del hongo en los granos de trigo se utiliza un inóculo[12] primario y secundario. El primario es la propagación del micelio a partir de una cepa crecida en medio de cultivo[13] definido químicamente, y el secundario es la propagación del micelio en semillas a partir del inóculo primario.

En el laboratorio se obtiene el inóculo primario a partir de repiques en medios de cultivo, agar[14] extracto de malta (AEM) (Figura 6) o papa dextrosa

10 / Aparato empleado para eliminar microorganismos mediante calor húmedo y presión. Se basa en la acción letal del vapor de agua a una presión determinada.
11 / Introducir o agregar un agente microbiano a un medio para su propagación
12 / Material vivo utilizado para obtener un cultivo microbiano.
13 / Gel o solución que cuenta con los nutrientes necesarios para permitir, bajo condiciones ambientales favorables, el crecimiento de microorganismos, células o plántulas.
14 / Polisacárido extraído de diversas especies de algas de la familia Rhodophyceae, el cual se concentra y deseca. Este polvo en agua se solidifica a temperatura ambiente, permitiendo obtener medios de cultivo sólidos para el crecimiento microbiano.

(PDA) (Anexo 6.1), de cepas de *Pleurotus* sp. En CORPOICA estas cepas se adquirieron en el ceparío[15] del Instituto Ecológico de México (P. ostreatus cepa IE238 y P. pulmonarius cepa IE115). A partir de estos repiques se hacen cortes del hongo en forma de cuadrados de 5 mm aproximadamente y se siembran 6 cuadrados con crecimiento fúngico en las bolsas o frascos de vidrio que contienen el sustrato.

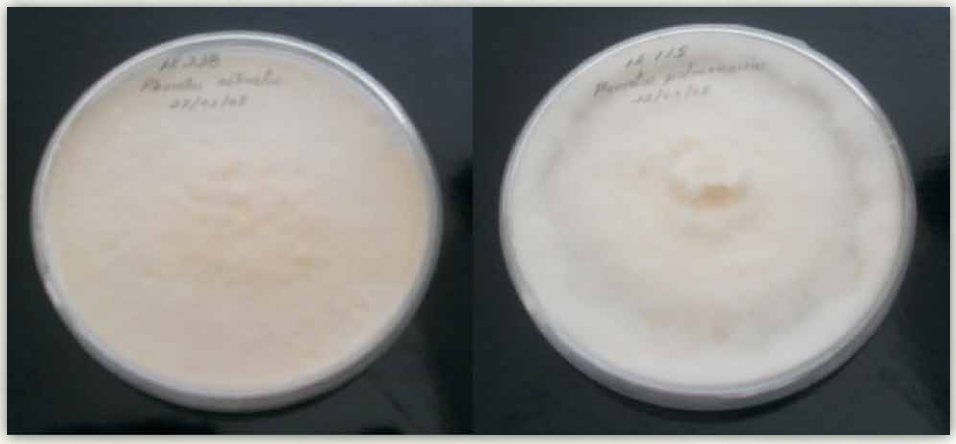


**Figura 6.** Crecimiento de micelio de *P. ostreatus* (izquierda) y *P. pulmonarius* (derecha) en agar extracto de malta.

**1.4.4. Condiciones de crecimiento.** Una vez inoculado el hongo en el trigo se incuba de 25 a 28 °C durante aproximadamente 15 días, revolviendo constantemente los recipientes de vidrio o bolsas para que el hongo invada completamente los granos (Figura 7). Al cabo de este tiempo se puede empacar la semilla, que está lista para ser usada.

**Figura 7.** Invasión del sustrato por micelio de *P. ostreatus* en frascos de vidrio y bolsas plásticas termorresistentes.

15 /Conjunto de cepas que se mantienen bajo condiciones controladas para conservar sus características fenotípicas y genotípicas.

**1.4.5. Empaque.** Cuando el hongo ha invadido todo el sustrato se empaca en bolsas de papel estériles, y en el caso de los frascos de vidrio dentro de una cámara de flujo laminar[16]; si fue preparada a partir de bolsas plásticas se sellan con calor. La semilla debe ser empacada de manera que el hongo pueda tener un intercambio de oxígeno y buscando protegerla de la luz se almacenan en oscuridad -preferiblemente en nevera en caso de no usarse de forma inmediata-. En estas condiciones la semilla puede durar hasta 3 meses; sin embargo, durante este tiempo va perdiendo peso, productividad y puede llegar a contaminarse si no es utilizada rápidamente.

**1.4.6. Recomendaciones finales.** Para evitar problemas de contaminación microbiana, en la semilla se debe controlar el contenido de humedad del grano, la temperatura y tiempo de esterilización, condiciones de asepsia y limpieza de los utensilios empleados en la inoculación.

Es importante verificar que los granos no hayan sido tratados químicamente con agroquímicos. El inóculo almacenado más tiempo del recomendado puede ser usado si no presenta contaminación y/o perforación de la bolsa, pero la invasión sobre el sustrato será más lenta, retrasando la aparición de fructificaciones y disminuyendo la rentabilidad.

## 1.5. Cultivo artesanal de orellanas y adecuación de planta piloto

**1.5.1. Escogencia del sitio para la producción de orellanas.** El sitio elegido para el cultivo debe ser seco, ventilado y limpio. No son necesarios espacios muy grandes, aunque si se requieren se pueden separar y distinguir cinco áreas: almacenamiento de sustratos e insumos, esterilización, inoculación, incubación y fructificación.

La bodega de almacenamiento de sustratos e insumos debe ser amplia, limpia y ojalá con piso de cemento; el área de esterilización, un espacio impermeabilizado o con piso de cemento, ventilado y limpio; el área de inoculación un espacio pequeño, cerrado, donde no haya corrientes de aire, perfectamente limpio y desinfectado; el área de incubación, un cuarto limpio y completamente oscuro con una temperatura que varíe entre 10 y 24 °C de

16 / Receptáculo en forma generalmente prismática con una única cara libre (la frontal) que da acceso al interior, donde se localiza la superficie de trabajo. La esterilidad de la zona de trabajo se consigue porque se hace circular a través del interior de la cámara una corriente de aire que previamente ha sido micro-filtrada para eliminar toda partícula extraña. Según el grado de sofisticación de la cámara, puede disponer de elementos accesorios como son: fuente de luz, lámpara de esterilización por U.V., pilotos indicadores de funcionamiento diversos, contador de horas de funcionamiento, indicador de presión interior, etc.

acuerdo a la especie fúngica. Por último, el área de fructificación debe ser un espacio más grande que el anterior y no estar completamente oscuro, sino lograr un estado de semipenumbra. En esta área la temperatura también varía de acuerdo con la especie y se debe mantener siempre húmeda.

**1.5.2. Semilla fúngica.** La semilla se obtiene como se explicó anteriormente o se adquiere comercialmente. La concentración utilizada varía de acuerdo con el productor, pero como mínimo se debe utilizar el 2 % de semilla por sustrato húmedo.

**1.5.3. Sustrato.** El sustrato debe contener todos los elementos necesarios para el crecimiento del hongo, principalmente cantidades adecuadas de carbono y nitrógeno. Para la producción de orellanas se emplean diversos residuos agroindustriales como aserrín, paja de arroz, pulpa de café, bagazo de caña de azúcar y pasto, entre otros. Lo importante es que el sustrato que se utilice cumpla con los requerimientos nutricionales, esté bien homogenizado, hidratado entre un 65 a 75 % y estéril. Normalmente se empaca en bolsas plásticas a razón de 1 ó 2 Kg por bolsa.

**1.5.4. Esterilización del sustrato.** El sustrato debe estar libre de otros microorganismos que compitan con *Pleurotus* por el alimento. Existen varios métodos: hervir el sustrato en agua, utilizar peróxido de hidrógeno al 30 %, cal, esterilizar con autoclave o en frío. Uno de los métodos más efectivos es la esterilización en autoclave, que utiliza presión y temperatura como una olla presión.

**1.5.5. Siembra.** Consiste en inocular la semilla en el sustrato después de esterilizado y enfriado para que posteriormente produzca cuerpos fructíferos. Aquí es clave trabajar bajo condiciones estrictas de esterilidad y homogenizar bien la semilla con el sustrato para el crecimiento óptimo del hongo. Como se dijo anteriormente, la concentración de semilla que se siembra varía, pero casi siempre se utiliza entre el 2 y 3 % del peso húmedo del sustrato.

**1.5.6. Incubación.** En el caso de *P. ostreatus* para la invasión del micelio y formación de primordios se necesita una temperatura entre 10 a 16 °C, y de *P. pulmonarius* un rango de 10 a 24 °C. El tiempo de duración de esta etapa varía entre 15 a 30 días de acuerdo con las características del sustrato y las condiciones ambientales.

**1.5.7. Fructificación.** Es la formación de los cuerpos fructíferos, siendo necesario que se le cambien las condiciones ambientales como temperatura,

ventilación y aumentar el ambiente húmedo a un 80 %. También se debe crear un ambiente de semipenumbra que se le puede dar con una polisombra. En el caso de *P. ostreatus*, la fructificación ocurre preferencialmente a temperaturas entre 10 y 21 °C, y en *P. pulmonarius* en un rango que va desde 18-24 °C. Las setas comienzan a formarse alrededor de las perforaciones de la bolsa y entre una o dos semanas de haber salido el primordio pueden ser cosechados.

**1.5.8. Cosecha.** A las dos semanas de aparecer los primordios se recogen las setas, momento en el que el pileo está casi plano (máximo crecimiento del hongo), bien sea con cuchillas estériles o con la mano sujetando el pie del hongo y haciendo una torsión para desprenderlo del sustrato. La cosecha se divide en tres periodos generalmente: en el primero se recoge 50 % de la producción, un 30 % en la segunda y en la última cosecha un 20 %.

**1.5.9. Experiencia de CORPOICA en la adecuación de plantas pilotos en los departamentos de Cundinamarca y Cauca.** En Cundinamarca, municipio de Quipile e inspección de la Virgen, se seleccionó una casa de guadua ubicada en las instalaciones del colegio Joaquín Medina, donde se realizaron dos adecuaciones interna y externamente. Para la adecuación interna de acuerdo al plano, se efectuó una división en 5 áreas: pasteuriza-

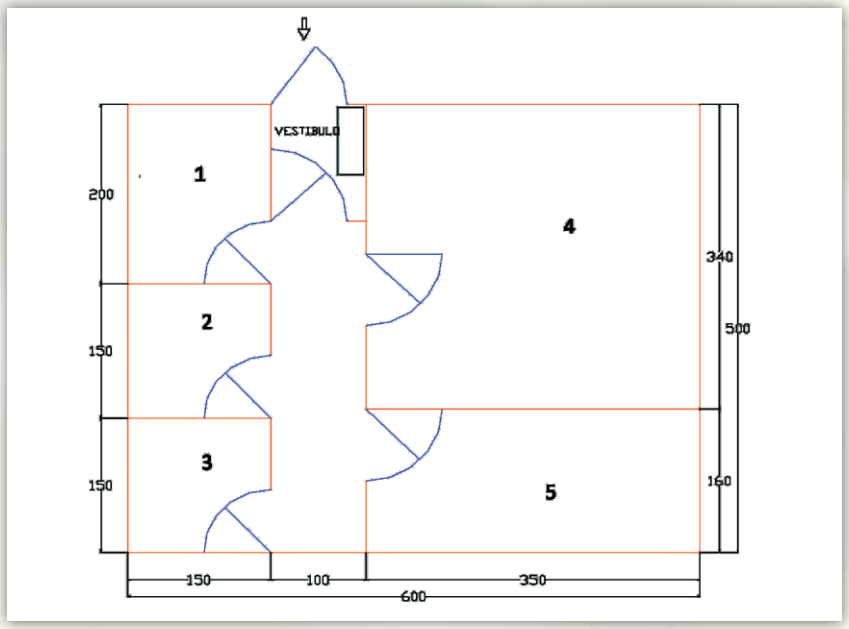



**Figura 8.** Diseño realizado por el Programa de Procesos Agroindustriales de CORPOICA para la planta piloto que se adecuó en la inspección de la Virgen (Quipile, Cundinamarca). 1. Área de empaque y almacenamiento. 2. Área de siembra. 3. Área de pasteurización. 4. Área de fructificación. 5. Área de incubación.

ción, siembra, incubación, fructificación, empaque y almacenamiento. En la parte externa se encerró la casa con guadua y se colocaron puertas.

En la vereda de la Aurelia, en municipio de Cajibío (Cauca), también se adecuó la planta piloto, la cual se construyó dentro de las instalaciones de uno de los socios de Agrovivas de acuerdo a los planos diseñados para tal fin con tres áreas definidas: siembra, empaque y almacenamiento (área 1), incubación (área 2) y fructificación (área 3).

En la Figura 9 se observan las adecuaciones realizadas en los municipios de Quipile y Cajibío.

**Figura 9.** Adecuaciones realizadas en Cajibío (izquierda) y Quipile (derecha)

## 1.6. Mantenimiento y conservación de cepas

Se realizó en CORPOICA –para mantener la viabilidad de las cepas en cultivos puros– la conservación de las características fenotípicas y genotípicas mediante la aplicación de técnicas microbiológicas desarrolladas en el Laboratorio de Microbiología de Procesos Agroindustriales de CORPOICA Tibaitatá.

Para el mantenimiento de las cepas se realizaron repiques a medios específicos mensualmente, y para la conservación de cepas se emplearon dos métodos que garantizaran su viabilidad por un año, conservando las características originales del cultivo madre u original.

1.6.1. Cepas utilizadas. Las dos cepas (*P. pulmonarius* IE115 y P. ostreatus IE238) adquiridas en el cepario del Instituto de Ecología de México (INELCOL).

A nivel macroscópico, la cepa *P. pulmonarius* IE115 es una colonia con crecimiento radial de color blanco, micelio algodonoso con producción de zonas

con pigmentación salmón claro (Figura 6); en el reverso de la colonia, se observa producción de pigmento difusible al medio de color ámbar (Figura 10). Entretanto *P. ostreatus* es una colonia blanca con crecimiento radial, micelio de textura seca, margen fimbriado, superficie irregular y no se observa pigmentación salmón claro (Figura 6); en el reverso se observa producción de pigmento difusible al medio color amarillo (Figura 10).

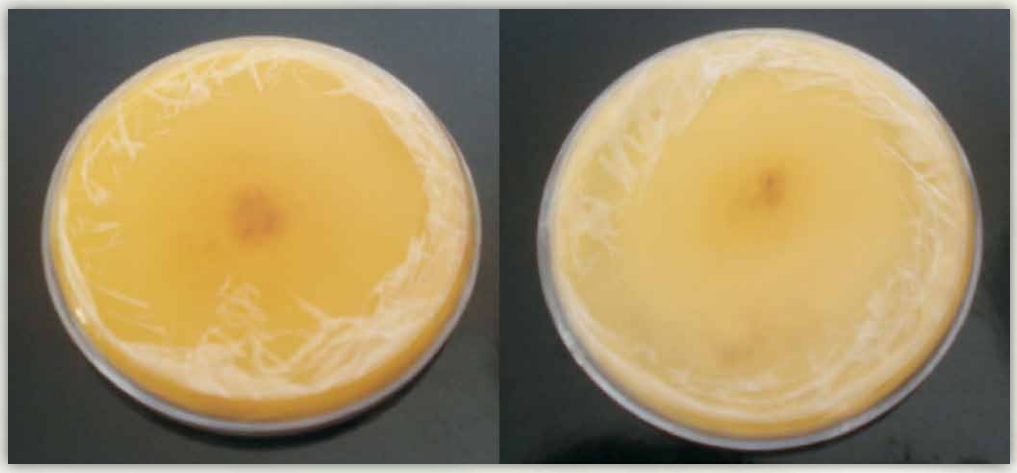


**Figura 10.** Envés de *P. ostreatus* cepa IE 238 (izquierda) y *P. pulmonarius* IE 115 (derecha) en agar extracto de malta.

**1.6.2. Medios de cultivo utilizados.** Como las recomendaciones de conservación dadas en México incluían el crecimiento en los medios agar extracto de malta (AEM) y/o agar papa dextrosa (PDA), estos fueron los escogidos para su propagación y conservación. Dichos medios sólidos permiten el desarrollo del micelio, ya que proporcionan los nutrientes adecuados para su desarrollo y son distribuidos por diferentes casas comerciales especializadas en microbiología. Para su preparación únicamente se siguen las indicaciones de la etiqueta, y se esterilizan mediante el uso de autoclave a 20 lb de presión por 15 a 20 minutos a 121° C.

**1.6.3. Hoja de vida de las cepas y cultivo.** Con base en las características morfológicas y microscópicas, condiciones de crecimiento, almacenamiento, manipulación y seguridad, medidas de protección, y conservación, entre otras, se realizaron las hojas de vida de las cepas adquiridas por el cepario de México.

Para el cultivo se siembran cuadrados de micelio de las cepas madre traídas de México en agar extracto de Malta y PDA a una temperatura entre 25 a 28°C hasta la invasión de la caja de petri. Para confirmar su pureza se deben hacer láminas con el colorante azul de lactofenol (también se consigue en el

mercado preparado) y se deben observar al microscopio. Las observaciones micro y macroscópica nos indican que las cepas tienen las mismas características de la cepa de origen, si se llevaron a cabo todas las recomendaciones.

**1.6.4. Mantenimiento y conservación de cepas.** Una vez conseguido el cultivo puro del hongo se debe conservar vivo el mayor tiempo posible, sobre todo si se han conseguido cepas o variedades de características interesantes. Mantener y conservar en buenas condiciones una colección de hongos requiere conocer no solo lo que concierne a las características morfológicas, crecimiento, propiedades bioquímicas y fisiológicas de los hongos, sino también los métodos de preservación más favorables para su conservación y mantenimiento posterior.

Dentro de los métodos utilizados en el mantenimiento y preservación de hongos están los que permiten el crecimiento (repiques en medios de cultivo), los de metabolismo limitado (agua destilada y aceite mineral) y los métodos que detienen el metabolismo (congelación y deshidratación). Cada método se escoge tomando en cuenta el tipo de hongo que se quiere preservar, la cantidad de cepas a mantener, la finalidad de uso, y los recursos humanos y físicos que dispone el laboratorio para tal fin.

Después de ensayos experimentales se escogió, además de los repiques mensuales que garantizan tener cultivos jóvenes para el trabajo rutinario, dos métodos de conservación (aceite mineral y agua destilada estéril), que resultaron ser efectivos para la conservación de *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*, manteniendo buena viabilidad durante un año. Así mismo se observó que en todas las recuperaciones los cultivos presentaban las mismas características macroscópicas descritas en las hojas de vida.

Las resiembras o transferencias mensuales se realizan tomando con una aguja de disección estéril un fragmento del micelio del hongo y colocándolo sobre el medio de cultivo de la nueva caja de petri. Se incuba de 25 a 28 °C y una vez que el micelio cubre toda la superficie del agar (15 días), las cajas se pueden mantener en refrigeración a 5° C. Los repiques tienen la finalidad de mantener la viabilidad de las esporas y el micelio fúngico. Esta actividad debe realizarse de forma constante para evitar desecación rápida del medio de cultivo y recombinación genética.

Para la conservación en aceite mineral se siembran las cepas sobre agar PDA inclinado en tubos tapa rosca y una vez se obtiene crecimiento se cubre con una capa de aceite mineral estéril (Figura 11).

**Figura 11.** Conservación en aceite mineral de las cepas *P. pulmonarius* y *P. ostreatus*.

El otro método de conservación en agua destilada estéril (tres ciclos de esterilización en autoclave) se realiza inoculando en el agua cinco a diez cuadros de agar con crecimiento de micelio (Figura 12). Este método es uno de los más utilizados en micología, debido a que reporta los mayores porcentajes de viabilidad (90-100 %) siempre y cuando no se presente contaminación microbiana o por ácaros.

**Figura 12.** Conservación en agua destilada con tres ciclos de esterilización

Las recomendaciones para las conservaciones de los hongos por estos dos métodos son: mantenerlos en un lugar fresco, libre de humedad, temperaturas entre 17-21 °C y evitar la incidencia de luz directa.

## 1.7. Estructura de costo de la producción de semilla y orellanas

**1.7.1. Semilla.** Como etapa inicial de la producción de las orellanas se debe contar con el material biológico necesario para su propagación. Esta

semilla puede, o bien ser comprada a los semillaristas de hongos o producirse por parte del mismo productor de las orellanas.

En este apartado se presenta la estructura de costos de producción de la semilla de orellana como un indicativo para aquellas personas interesadas en producirla. A manera de referente, se han calculado los costos de producción para una escala productiva media de 600 kg/mes de semilla del hongo (Tabla 3).

**Tabla 3. Estructura del costo de producción de 600 kg/mes de semilla de *P. ostreatus*.**

| CONCEPTO | CANT. | UNIDAD | PRECIO UNIDAD (COP *) | VALOR TOTAL (COP) | PARTICIPACIÓN % |
|---|---|---|---|---|---|
| **1. Mano de obra** | | | | | |
| Microbiólogo industrial | 0,33 | Salario integral | 2.500.000 | 825.000 | 21,15 |
| Auxiliar | 1 | Salario mínimo | 824.264 | 824.264 | 21,13 |
| **2. Materia prima** | | | | | |
| Cepa del hongo | 60 | Repique | 278 | 16.667 | 0,43 |
| Agar extracto de malta | 300 | g | 1.021 | 306.240 | 7,85 |
| Grano de trigo | 330 | Kg | 2.800 | 924.000 | 23,69 |
| Carbonato de calcio | 600 | g | 1 | 600 | 0,02 |
| **3. Materiales** | | | | | |
| Cajas de petri | 60 | Unidad | 600 | 36.000 | 0,92 |
| Toallas de papel | 50 | Unidad | 20 | 1.000 | 0,03 |
| Papel de película transparente adhesiva | 10 | m | 100 | 1.000 | 0,03 |
| Bolsas de papel | 450 | Unidad | 60 | 27.000 | 0,69 |
| Papelería y utensilios oficina | 1 | Global | 25.000 | 25.000 | 0,64 |
| **4. Servicios** | | | | | |
| Gas natural | 1 | Global | 20.000 | 20.000 | 0,51 |
| Electricidad | 130 | Kw/h | 262 | 34.060 | 0,87 |
| Agua y alcantarillado | 15 | m3 | 4.286 | 64.290 | 1,65 |
| Mantenimiento de equipos | 1 | Global | 100.000 | 100.000 | 2,56 |
| Arriendo laboratorio | 1 | mes | 500.000 | 500.000 | 12,82 |
| **5. Depreciación de equipos** | | | | | |
| Autoclave | 3 | Unidad | 7.,734 | 23.203 | 0,59 |
| Incubadora | 1 | Unidad | 26.100 | 26.100 | 0,67 |
| Cámara de flujo | 1 | Unidad | 78.000 | 78.000 | 2,00 |
| Estantes | 5 | Unidad | 450 | 2.250 | 0,06 |
| Ollas | 2 | Unidad | 900 | 1.800 | 0,05 |
| Estufas | 1 | Unidad | 2.250 | 2.250 | 0,06 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Balanza electrónica | 1 | Unidad | 10.350 | 10.350 | 0,27 |
| Horno microondas | 1 | Unidad | 3.300 | 3.300 | 0,08 |
| Nevera | 1 | Unidad | 9.750 | 9.750 | 0,25 |
| Termómetro | 1 | Unidad | 2.000 | 2.000 | 0,05 |
| Botellas garrafa | 300 | Unidad | 83 | 25.000 | 0,64 |
| Asas laboratorio | 2 | Unidad | 329 | 657 | 0,02 |
| Mechero | 1 | Unidad | 1.500 | 1.500 | 0,04 |
| Tubos tapa rosca 16 x 150 mm | 5 | Unidad | 309 | 1.547 | 0,04 |
| Erlenmeyers 100 mL | 2 | Unidad | 4.167 | 8.333 | 0,21 |
| | | | | | |
| **Total** | | | | **3.901.161** | **100** |
| | | | | | |
| Costo producción semilla del hongo | 600 | Kg | 6.502 | 3.901.161 | |
| Ingreso por venta | 600 | Kg | 9.500 | 5.700.000 | |
| Utilidad | 600 | Kg | 2.998 | 1.798.800 | |
| Rentabilidad | | % | | | **46,11** |

* COP: Pesos colombianos (Abreviación formal)

Los costos de producción pueden ser divididos de acuerdo con su naturaleza en: mano de obra, materia prima, materiales requeridos en el laboratorio, servicios y costos de depreciación de los equipos e instrumentos utilizados. A continuación se describe de manera más detallada cada uno de estos conceptos.

**1.7.1.1. Mano de obra.** Se estima que para la producción de 600 kg al mes de semilla de orellana se requiere un asesor en el área de microbiología y un asistente de laboratorio de tiempo completo. En conjunto, estimando una tercera parte del tiempo del microbiólogo y un salario integral con prestaciones del asistente de laboratorio, la mano de obra representa cerca del 42 % de los costos de producción de la semilla.

**1.7.1.2. Materia Prima.** Como insumos básicos para la producción de la semilla se requiere la cepa básica del hongo, agar extracto de malta, grano de trigo y carbonato de calcio, en las cantidades indicadas en la Tabla 3. Se calcula que en conjunto las materias primas representan cerca del 32 % del costo de producción de la semilla.

**1.7.1.3. Materiales.** Como materiales se consideran todos aquellos consumibles que se utilizan en el ciclo de producción y no se reutilizan en otros nuevos ciclos, por lo tanto son costeados por su valor de adquisición. Dentro de este tipo de materiales consumibles se consideran las cajas de petri,

toallas de papel, papel de película transparente adhesiva, bolsas de papel y papelería de oficina. En conjunto, los consumibles representan cerca del 2 % del costo total.

**1.7.1.4. Servicios.** Dentro de este concepto se considera el consumo de gas, electricidad, acueducto y alcantarillado; los servicios de mantenimiento de equipos; y el valor de arriendo del local requerido para la producción de la semilla. Estos servicios considerados en conjunto representan aproximadamente el 19 % de los costos de producción.

**1.7.1.5. Depreciación de equipos e instrumentos.** A diferencia de los materiales consumibles, en este concepto se consideran todos los equipos e instrumentos que se utilizan en varios ciclos de producción y que por tanto deben ser costeados por su valor de depreciación. Dentro de los principales equipos requeridos se tienen las autoclaves, la incubadora, la cámara de flujo, estufa, horno microondas, nevera, balanza electrónica e instrumentos como estantes, ollas, termómetro, botellas, asas, mechero, tubos y erlenmeyers. En conjunto, la depreciación de estos elementos representa el 5 % del costo total de producción de la semilla.

**1.7.1.6. Análisis económico.** De acuerdo con los cálculos anteriores, la producción de 600 kilogramos de semilla del hongo al mes permite obtener una rentabilidad cercana al 46 %, expresada en la relación beneficio/costo. Ejercicios similares de estructuración de costos se realizaron para capacidades de producción de 300 kg/mes y 900 kg/mes, encontrando que la escala mínima para producir la semilla del hongo en condiciones rentables es de 300 kg, es decir que si no se logra tener esta capacidad de producción, la opción más razonable para el productor de la orellana es comprar la semilla en lugar de producirla. En el caso de la capacidad de producción de 900 kg/mes se halló que la rentabilidad puede llegar a 70 %, pero ésta solamente se justifica para productores especializados de semilla o para aquellos productores de orellana de gran escala que requieren cantidades significativas de semilla.

**1.7.2. Orellanas.** Para la producción de orellana se requieren diversos costos de inversión y de operación. En este manual nos referiremos específicamente a los costos operativos; el costo de la inversión en activos de infraestructura y equipos para la producción se tomará por su valor de depreciación. A manera ilustrativa se presenta la estructura de costos para una escala de producción de 250 kilogramos al mes de orellana. Cabe resaltar que a partir de esta producción de orellana se produce simultáneamente

como subproducto 820 kilogramos de sustrato o bagazo enriquecido, que es utilizado ulteriormente como materia prima básica para elaborar bloques de alto valor nutricional con destino a la alimentación de bovinos.

Los costos operativos de la producción del hongo pueden dividirse en mano de obra, materia prima, otros materiales, servicios y depreciación de equipos (Tabla 4).

**Tabla 4. Costo de producción de 250 kg de hongo *P. ostreatus* (500 tubulares de 2 kg).**

| CONCEPTO | CANT. | UNIDAD | PRECIO UNIDAD (COP*) | VALOR TOTAL (COP) | PARTICIPACIÓN % |
|---|---|---|---|---|---|
| **1. Mano de obra** | | | | | |
| Administración | 0,10 | Salario integral | 1.500.000 | 150.000 | **7,7** |
| Operarios | 1 | Salario mínimo | 824.264 | 824.264 | **42,4** |
| **2. Materia prima** | | | | | |
| Bagazo "seco" | 125 | Kg | 90 | 11.250 | **0,6** |
| Transporte del bagazo | 1 | Viaje | 30.000 | 30.000 | **1,5** |
| Semilla del hongo | 40 | Kg | 9.500 | 380.000 | **19,6** |
| Salvado de trigo | 115 | Kg | 575 | 66.125 | **3,4** |
| Carbonato de calcio | 10 | Kg | 1.000 | 10.000 | **0,5** |
| Agua | 750 | L | 2,5 | 1.875 | **0,5** |
| **3. Materiales** | | | | | |
| Bolsas plásticas transparente calibre 1 | 500 | Unidad | 33 | 16.500 | **0,8** |
| Bandas plásticas | 0,5 | Kg | 10.000 | 5.000 | **0,3** |
| Micropore | 1 | rollo | 3.000 | 3.000 | **0,2** |
| Fibra plástica | 1 | rollo | 12.000 | 12.000 | **0,6** |
| Plástico atrapamoscas | 1 | m | 2.088 | 2.088 | **0,1** |
| Pegante atrapamoscas | 0,05 | L | 43.000 | 2.150 | **0,1** |
| Bandejas de poliestireno expandido | 1.000,00 | Unidad | 34 | 34.000 | **1,8** |
| Papel vinipel | 200 | m | 45 | 9.000 | **0,5** |
| Etiquetas autoadhesivas | 1.000 | Unidad | 70 | 70.000 | **3,6** |
| Papelería y utensilios de planta | 1 | Global | 25.000 | 25.000 | **1,3** |
| **4. Servicios** | | | | | |
| Gas natural | 1 | cilindro 30 libras | 30.000 | 30.000 | **1,5** |
| Electricidad | 50 | Kw/h | 262 | 13.100 | **0,7** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Agua y alcantarillado | 10 | m3 | 2.500 | 25.000 | **1,3** |
| Arriendo instalación planta | 1 | mes | 180.000 | 180.000 | **9,3** |
| **5. Depreciación de equipos** | | | | | |
| Básculas grameras | 2 | Unidad | 700 | 1.400 | **0,1** |
| Pica pastos | 1 | Unidad | 9.000 | 9.000 | **0,5** |
| Termohigrómetro | 2 | Unidad | 750 | 1.500 | **0,1** |
| Sistema de riego | 1 | Unidad | 3.333 | 3.333 | **0,2** |
| Estantes | 10 | Unidad | 833 | 8.333 | **0,4** |
| Utensilios varios | 1 | Global | 2.467 | 2.467 | **0,1** |
| Estufa | 2 | Unidad | 975 | 1.950 | **0,1** |
| Mesa en acero inoxidable | 1 | Unidad | 1.250 | 1.250 | **0,1** |
| Empacadora | 1 | Unidad | 1.500 | 1.500 | **0,1** |
| Canecas galvanizadas | 2 | Unidad | 750 | 1.500 | **0,1** |
| Nevera | 1 | Unidad | 9.750 | 9.750 | **0,5** |
| | | | | | |
| **Total** | | | | **1.942.335** | **100,00** |
| | | | | | |
| Costo producción del hongo | 250 | Kg | 7.769 | 1.942.335 | |
| Ingreso por venta | 250 | Kg | 16.000 | 4.000.000 | |
| Utilidad | 250 | Kg | 8.231 | 2.057.665 | |
| Rentabilidad | | % | | | **105,94** |

**1.7.2.1. Mano de obra.** En el cultivo de los hongos se emplean básicamente dos personas: una corresponde al administrador o propietario del cultivo, quien participa aportando una décima parte de su tiempo laboral en funciones de vigilancia y control de la producción; la otra corresponde a un operario de tiempo completo (o mejor dos operarios de medio tiempo), quienes desarrollan las operaciones de siembra, mantenimiento, cosecha y empaque de la orellana. Al considerar el costo de la administración y un salario mínimo integral con prestaciones se puede calcular que la mano de obra representa cerca del 50 % del costo total de producción del hongo.

**1.7.2.2. Materia Prima.** En este proceso productivo las materias primas están constituidas básicamente por la semilla del hongo, el bagazo de caña utilizado como sustrato, salvado de trigo y carbonato de calcio, en las cantidades y proporciones que se muestran en la Tabla 4. En conjunto, las materias primas representan el 26 % de los costos de producción.

**1.7.2.3. Otros materiales.** Dentro de este concepto se consideran aquellos elementos que se consumen completamente durante el ciclo de producción del hongo y no pueden ser reutilizados en otros ciclos. Dentro de los materiales consumibles se consideran las bolsas plásticas para armar los tubulares de cultivo, las bandas de caucho para sellar las bolsas, el micropore, la fibra para colgar los tubulares, el plástico y el pegante para el control de insectos, y las bandejas de icopor, el vinipel y las etiquetas autoadhesivas utilizados para el empaque de la orellana una vez cosechada. En conjunto, estos materiales representan cerca del 9 % de los costos.

**1.7.2.4. Servicios.** Dentro de estos se considera el gas, el agua, la energía eléctrica y el gasto de arriendo mensual del sitio o planta donde se realiza el cultivo. Estos servicios considerados en conjunto representan el 13 % del costo total.

**1.7.2.5. Depreciación de equipos.** Como se anotaba en la introducción, la inversión en equipos, enseres y herramientas requeridas en el proceso se costea por su valor de depreciación. En este concepto se incluye la depreciación de una nevera, de una máquina picapastos, de un sistema de riego, de la estantería, de una estufa, de un mesón de acero inoxidable y de una empacadora, entre otros elementos. La depreciación de estos activos representa el 2 % del costo de producción de la orellana. Cabe mencionar que si las instalaciones o la construcción de la planta donde se realiza el cultivo son propias, se deberá calcular el costo de depreciación en lugar del arriendo. Sin embargo, para el ejemplo que nos ocupa hemos supuesto que estas instalaciones se toman en arriendo.

**1.7.2.6. Análisis económico.** De acuerdo con los datos de costos obtenidos, y suponiendo el valor de venta en la planta de producción que se muestra en la Tabla 4, se puede calcular una rentabilidad del 105 % expresada en la relación beneficio/costo. Esta rentabilidad resulta relativamente alta para esquemas de agricultura empresarial, si bien, cuando se trata de negocios de pequeña escala desarrollados básicamente en esquemas de agricultura familiar –como el que nos ocupa– se puede considerar como una rentabilidad normal.

# 2. PRODUCCIÓN DE SUSTRATO ENRIQUECIDO

## 2.1. Conceptos básicos

**2.1.1. Sustrato.** Un sustrato utilizado para el cultivo de microorganismos se define como el material que contiene todos los elementos en forma adecuada para la síntesis del material celular y la producción de productos metabólicos. A nivel de laboratorio se pueden utilizar elementos químicamente definidos para la preparación de medios de cultivo, aunque en la industria esto es poco frecuente, debido al valor económico de estos medios. Por esta razón se usan sustratos complejos casi indefinidos como subproductos de procesos industriales o residuos agrícolas. Para la utilización de estos medios hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Un medio óptimamente equilibrado es obligatorio para conseguir la máxima de producción.
- La composición de los medios debe ser constantemente adaptada al proceso de fermentación.
- Es necesario verificar el rendimiento y recuperación del producto en el medio de cultivo.
- Eliminar la represión por la presencia excesiva de fuentes de carbono de fácil asimilación o por fosfato mediante la optimización de los nutrientes del medio.

Como fuente de carbono para la preparación de medios de cultivo se utiliza una gran variedad de sustratos, entre los que se encuentran materiales ricos en celulosa por su amplia disponibilidad y bajo costo; no obstante, estos sustratos no pueden utilizarse directamente y deben ser hidrolizados, bien sea química o enzimáticamente buscando liberar azúcares que puedan ser asimilados por microorganismos de interés industrial.

Sumado a esto, el tratamiento enzimático –especialmente con hongos de sustratos lignocelulósicos como los residuos agrícolas– mejora no solo la calidad nutritiva sino la digestibilidad de dichos sustratos, pudiendo ser uti-

lizados como alimento o suplemento animal, aumentando de esta forma la disponibilidad de recursos agrícolas forrajeros y dándole un valor agregado a los residuos. *Pleurotus* spp. es considerado como uno de los géneros lignocelulósicos más eficientes dentro de los hongos de la podredumbre blanca, degradando una gran cantidad de residuos como paja de trigo, maíz, coco, arroz, maní, bagazo de caña de azúcar, cáscara de cacao, cacota de café, aserrín, algodón, jacinto de agua y elodea brasilera, entre otros.

**2.1.2. Fermentación[17] en estado sólido (FES).** Proceso microbiano en el cual el material sólido es usado como sustrato o soporte inerte para el crecimiento de microorganismos. Muchas veces la FES produce mejor crecimiento y cantidad de enzimas extracelulares y otros metabolitos que la fermentación sumergida (líquida). Por ejemplo, se ha observado que en FES *Pleurotus* sp. utilizando paja de trigo produce enzimas diferentes en peso molecular y punto isoeléctrico[18] que las que produce en fermentación sumergida.

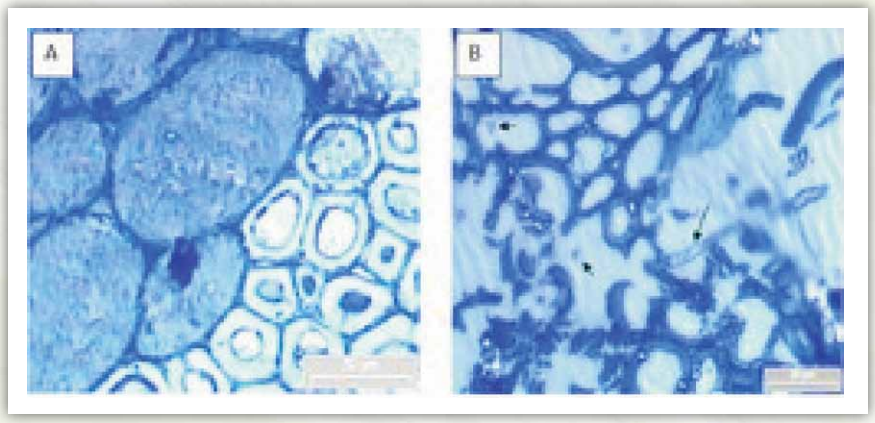
Las diferencias entre fermentación en estado sólido y medio líquido son las siguientes:

- En un medio sólido el crecimiento y formación del producto ocurre principalmente sobre la superficie.
- El contenido de humedad en FES es generalmente bajo dependiendo de las características físicas y químicas del sustrato.
- El calor derivado del metabolismo y crecimiento del microorganismo incrementa la temperatura en el sustrato sólido causando pérdidas de humedad.
- Usualmente los sustratos sólidos son materiales naturales y los productos son todo el sustrato fermentado.
- Los microorganismos comúnmente utilizados en FES son hongos que tienen diferencias morfológicas en los tipos de micelios aéreo y sumergido que producen en estado sólido, los cuales actúan de manera diferente fisiológicamente complicando el control del proceso.
- Al dificultarse la agitación del sustrato el crecimiento es generalmente estacionario, excepto en los fermentadores rotatorios.

El crecimiento de A. niger a los cinco días sobre palma de aceite lavada con agua caliente produjo sacarificación (liberación de azúcares reductores), debido a la destrucción de la pared celular (que contiene celulosa y hemicelulosa). En la Figura 13 se observa cambio de forma de las células de la palma

17 / Conjunto de reacciones catabólicas o de degradación que produce energía en forma de ATP
18 / El punto isoeléctrico es el pH al que una sustancia, que puede reaccionar como un ácido o una base, tiene carga neta cero.

de aceite por la acción enzimática del hongo al penetrar las hifas el sustrato y romper la pared de la célula.




Tomado de: Long *et al.* (2010)
**Figura 13.** Células de hoja de palma de aceite antes (A) y después (B) de la acción enzimática del hongo.

La fermentación en estado sólido de caña de azúcar inoculada con el hongo *P. sapidus* aumentó la digestibilidad a un 70 % y disminuyó la cantidad de gas producido durante la fermentación ruminal *in vitro* en un estudio realizado en Brasil. De acuerdo con estos resultados, los investigadores del estudio mencionado concluyeron que el sustrato fermentado con el hongo es promisorio para nutrición de rumiantes en zonas tropicales donde se produce caña de azúcar.

En el país africano de Ghana la fermentación en estado sólido de la cáscara de cacao utilizando a *P. ostreatus* incrementó en promedio el contenido de proteína cruda y carbohidratos solubles en un 36 %, con disminución de lignina en un 17 % y taninos en un 88 %.

**2.1.3. Proteína unicelular.** El término proteína unicelular (PUC) se emplea para referirse a microorganismos tales como bacterias, levaduras, algas y hongos filamentosos que son empleados para alimentación humana o animal principalmente por su alto contenido en proteínas.

En el caso de hongos comestibles como el *P. sajor-caju* se observó que el 50 % de las proteínas en la dieta suministrada a ratas podían ser reemplazadas por hongo sin efectos adversos. En Brasil también se advirtió que la utilización de *P. ostreatus* y *P. sajor-caju* enriqueció el sustrato a base de arroz y junco fino (*Juncus effusus*) con un alto contenido de proteínas digestibles (49%). Así mismo, otro estudio mostró enriquecimiento cinco veces mayor de

proteínas y azúcares solubles en la paja de arroz con *Pleurotus flabellatus*, con disminución del contenido de lignina en un 25 % revelando su potencial para mejorar la nutrición ruminal y para la producción de proteína unicelular.

**2.1.4. Alimentos funcionales.** Este término se definió en 1998 como *"el alimento que contiene al menos un elemento nutriente o no nutriente positivo para una o varias funciones del organismo, más allá del aspecto nutricional convencional, encaminado a incrementar el bienestar o disminuir el riesgo de enfermar"*. Dentro de este grupo están los probióticos[19], prebióticos[20], asociaciones de los dos anteriores, alimentos ricos en fibra, ácidos grasos omega 3, ácido oleico y fitoesteroles. Por eso, para muchos autores las setas comestibles deberían ser consideradas como alimentos funcionales.

Los probióticos son adicionados en la alimentación animal para prevenir enfermedades y mejorar la absorción de nutrientes con el fin de lograr un aumento en el índice de conversión y ganancia de peso. Se encontró que algunos hongos saprofitos como *Penicillium* sp. y *Aspergillus niger* actuaban como probióticos al fermentar la pulpa de café y ser agregada entre un 1 a 3 % a distintos materiales (rastrojo de maíz, alfalfa con aceite insaturado, harina de sangre) para alimentación en rumiantes (forrajes, proteínas, grasas), debido al aumento de la digestibilidad de los materiales en un 5 a 8 % y a la eliminación de factores anti-nutricionales como fenoles y xantinas. Resultados similares fueron encontrados al cultivar residuos de café en Brasil con los hongos *P. ostreatus* y *P. sajor-caju*, donde se redujo el contenido de cafeína y fenoles en un 60 % y se incrementó el contenido de proteínas en un 9,62 %, aseverando su uso potencial en nutrición de rumiantes.

Se ha comprobado que la incorporación de hongos ligninolíticos como *Pleurotus* sp. a forrajes con alto contenido de fibra como pretratamiento previo al ensilaje, favorece la degradación y el proceso de fermentación ruminal de la fibra con disminución de la producción de gases.

## 2.2. El bagazo de caña de azúcar como sustrato

Residuos de caña de azúcar, incluyendo el bagazo, se utilizan como materia prima en varios procesos agroindustriales como: la generación de combustible para hornillas paneleras, la producción de papel y la generación

19 / Microorganismos que consumidos vivos en el alimento tienen la capacidad de ejercer beneficios a la salud que van más allá de la nutrición básica inherente.
20 / Aquellos que contienen sustancias no digeribles que estimulan selectivamente el crecimiento de ciertas bacterias de la flora intestinal favoreciendo diversas funciones del organismo (por ejemplo, la inulina).

de productos fermentados como alcoholes, alcaloides, hongos comestibles, proteína unicelular para alimentación animal y enzimas.

El bagazo de caña es un manojo de hebras fibrosas obtenido como subproducto de la molienda de la caña de azúcar para extraer la sacarosa y constituye entre un 40-50 % de la caña fresca. Su composición física se mantiene casi constante, a pesar de las diferentes clases de caña que se emplean para la molienda.

El bagazo contiene entre un 3 a 5 % de azúcares reductores, 2 a 3 % de sólidos solubles (ceras, pectinas, ácidos grasos), un 45 % de celulosa, 25 % de pentosanos y un 20,7 % de lignina, con una humedad que varía después de la molienda en 40 a 50 % (al ser almacenado se baja la humedad por debajo del 30 %) y un peso volumétrico desde 50 kg/m3 hasta 220 kg/m3 en base seca. Posee un alto contenido de fibra y es bajo en proteína, donde predominan los carbohidratos estructurales que limitan su digestibilidad y aporte de energía. Aunque existen diferencias entre individuos, la digestibilidad de la materia seca en algunos casos es de solo el 25 %, contribuyendo las fibras más cortas del bagazo con los nutrientes digestibles. Se han aislado varios microorganismos del bagazo pertenecientes a los géneros bacterianos *Bacillus* sp., *Staphylococcus* sp., *Micrococcus* sp., *Clostridium* sp. y el actinomiceto *Streptomyces* sp.; y entre hongos y levaduras se han aislado varias especies de los géneros *Pichia* spp., *Debaryomyces* spp., *Hansenula* spp., *Aspergillus* spp., *Monilia sitophila*, *Cladosporium herbarum* y *Aleurisma carnis*.

Se ha notado que la inoculación de hongos sobre este residuo agroindustrial contribuye al mejoramiento de su calidad nutricional y digestibilidad. La inoculación del hongo *P. ostreatus* sobre una mezcla de residuos azucareros presentó un aumento significativo de proteína cruda, cenizas, minerales como calcio y potasio; con disminución de lignina, celulosa y hemicelulosa. Lo mismo ocurrió con una mezcla de cachaza, bagacillo, residuos líquidos del procesamiento de la caña de azúcar, urea y miel final conocido como Granaver (alimento para ganado) al agregarle *P. ostreatus*, a excepción del calcio, que presentó una disminución significativa ($P<0,05$). La utilización de caña integral como sustrato para ensilaje previa fermentación con P. *sapidus* mejoró el producto final al aumentar el contenido de proteína y disminuyó el contenido de lactato, amonio libre y la producción total de gas durante la fermentación ruminal *in vitro*.

La adición de un 15 a 30 % de bagazo de caña en un medio de cultivo sólido que contenía harina de yuca mejoró hasta un 35 % la tasa de crecimiento

de *A. niger*, ya que las fibras celulolíticas actúan como un almacén de agua y aumentan la porosidad del medio aumentando además la liberación de proteínas y carbohidratos al mismo. Sin embargo, entre las desventajas se encuentra la baja densidad aparente de las fibras, razón por la que para las mezclas finales del medio de cultivo en los fermentadores se requieren volúmenes de operación mayores.

En CORPOICA como primer paso para la obtención de bagazo enriquecido con *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* se caracterizaron nutricionalmente dos bagazos provenientes de la inspección de la Virgen (Quipile, Cundinamarca) y la vereda de la Aurelia en el municipio de Cajibío (Cauca) (Tabla 5).

**Tabla 5. Resultados de los análisis bromatológicos realizados a bagazos de caña de azúcar procedente de dos municipios paneleros colombianos.**

| Composición nutricional | Porcentajes presentes en Bagazo de Caña | |
|---|---|---|
| | Quipile (C/marca) | Cajibío (Cauca) |
| Proteína Cruda | 1,5 | 1,43 |
| Humedad (65°C) | 28,19 | 14,05 |
| Fibra en detergente neutro[21] (FDN) | 79,8 | 80,6 |
| Fibra en detergente ácido[22] (FDA) | 61,68 | 61,32 |
| Fibra cruda | 53,58 | 53,26 |
| Lignina | 10,94 | 10,2 |
| Celulosa | 50,74 | 51,12 |
| Hemicelulosa | 18,12 | 19,27 |
| Carbohidratos no estructurales[23] | 5,31 | 5,85 |
| Calcio | 0,11 | 0,08 |
| Fósforo | 0,06 | 0,05 |
| Digestibilidad *in vitro*[24] | 34,11 | 36,02 |

El bagazo procedente del municipio de Quipile presenta mayores contenidos de proteína, humedad, lignina y fósforo; mientras que el del municipio de Cajibío presenta mayores contenidos de celulosa, hemicelulosa y carbohidratos no estructurales, razón por la cual se presenta un porcentaje ligeramente superior de digestibilidad *in vitro* en el bagazo procedente de este último municipio, que tiene una menor concentración de lignina. No obstante, es de anotar que los dos bagazos tienen un contenido bajo de proteínas

21 / Es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente neutro. Está básicamente compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice.
22 / Es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente ácido. Está básicamente compuesta por celulosa, lignina y sílice.
23 / Carbohidratos que no forman parte de la pared celular. Son compuestos activos en el metabolismo de las plantas, se almacenan en órganos de reserva y están constituidos por azúcares libres (glucosa, fructosa, sacarosa y, en menor medida, maltosa, melobiosa, rafinosa y estaquiosa), almidón y fructosanos.
24 / Expresa la proporción en que se encuentran los nutrientes digestibles y su utilización con respecto al total de alimento ingerido por el animal.

y un alto contenido de fibra, que limitan su uso para alimentación animal a no ser que se utilice algún pretratamiento que enriquezca los residuos con proteína y/o minerales y baje el contenido de fibra (lignina, celulosa y hemicelulosa principalmente) haciendo más digestible el sustrato. El tratamiento escogido es la fermentación en estado sólido del sustrato utilizando dos especies de *Pleurotus*.

## 2.3. Obtención de bagazo enriquecido

**2.3.1. Estandarización del protocolo de producción de bagazo enriquecido.** Inicialmente se adecuó el sustrato haciendo lavados –que se describen más adelante– y siguiendo la metodología de Bello et al. (2007); posteriormente, mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 3 x 3 con tres repeticiones para un total de 54 unidades experimentales, se evaluaron los porcentajes de proteína cruda, fibra en detergente neutro, FDN, FDA, lignina, celulosa, hemicelulosa y digestibilidad *in vitro*. Las fuentes de variación fueron: manejo del bagazo (entero y molido), concentración del inóculo (5, 15 y 20 %) y tiempo de incubación (15, 30 y 45 días). Con base en los resultados obtenidos y costos se determinó la utilización del 5 % de inóculo fúngico para la producción de bagazo de caña de azúcar enriquecido.

**2.3.2. Preparación del sustrato.** El bagazo de caña de azúcar antes de realizar la mezcla necesitó un pretratamiento (que consiste en lavados con agua durante 48 horas agregando al bagazo agua de la llave hasta cubrirlo totalmente con recambios de agua cada 12 horas) con el fin de eliminar azúcares no estructurales y ácidos. Posteriormente se dejó secar a temperatura ambiente y se mezcló con salvado de trigo (23 %) y carbonato de calcio (2 %). Esta mezcla se llevó a pasteurización con agua a 85 % durante 5 ho-

**Figura 14.** Etapas del proceso de pasteurización: llenado de la olla con el sustrato para esterilizarlo (izquierda) y escurrido del agua de la olla (derecha).

ras, se escurrió el agua con la olla tapada y se dejó enfriar para proceder a inocular el hongo.

**2.3.3. Siembra y monitoreo.** La inoculación del hongo se hace bajo condiciones de esterilidad en el área de siembra de la planta de producción. El área puede tener una cámara de flujo laminar o una mesa de aluminio con mechero de alcohol o gas donde se adiciona el hongo a cada bolsa con el sustrato por capas. En el caso del experimento llevado a cabo en CORPOICA, se realizó un primer ensayo sembrando en cámara de flujo laminar en el laboratorio de procesos agroindustriales y este se llevó a continuación a campo sembrando con mecheros de alcohol en el área de siembra de la planta de producción, tanto en Cajibío como en Quipile. La semilla obtenida en granos de trigo (*P. ostreatus* o *P. pulmonarius*) se agregó por capas al sustrato teniendo en cuenta una proporción del 5 % de semilla por peso húmedo del sustrato (también se puede utilizar la semilla a concentraciones entre el 2 y 3 %). Al final, se cerró la bolsa con caucho realizándole dos perforaciones con cautín o asa recta caliente por lado que se sellaron con micropore para que el hongo respirara (Figura 15).

Tomado de: Tibaquicha (2009)

**Figura 15.** Bolsa inoculada con el hongo *P. ostreatus* y con perforaciones selladas con micropore.

**2.3.4. Crecimiento micelial y fructificación.** Las bolsas inoculadas se llevaron al área de incubación oscura y se dejaron hasta que el hongo invadió todo el sustrato y formó primordios[25] (entre 15 y 20 días). Después se

25 / Estado joven o inmaduro de un cuerpo fructífero

pasaron al área de fructificación con alta luminosidad de 1.000 a 1.500 Lux y una humedad relativa entre el 85 y 90 %; en esta etapa los tubulares[26] permanecieron aproximadamente de 5 a 7 días para la primera cosecha.

**Figura 16.** Etapas de crecimiento del hongo *P. ostreatus*. Invasión del micelio (izquierda) y fructificación (derecha).

Las bolsas se observaron cada tercer día cuando estaba creciendo el micelio, monitoreando humedad y temperatura. En la etapa de fructificación se observaron todos los días, regando con agua para mantener la humedad relativa y evitar contaminación.

**2.3.5. Cosecha del hongo.** En el área de fructificación los cuerpos fructíferos se cosecharon más o menos a la semana, cuando las setas abrieron completamente (Figura 17), teniendo en cuenta que no se doblaran los bordes hacia arriba.

**Figura 17.** Producción de cuerpos fructíferos listos para cosechar.

26 / Bloque del sustrato con la semilla del hongo

De un tubular se consiguieron tres cosechas, que fueron disminuyendo en producción hasta dejar de obtener algún cuerpo fructífero.

**2.3.6. Obtención de sustrato enriquecido.** El sustrato donde creció el hongo sufrió una serie de transformaciones en su composición a través del tiempo gracias a la maquinaria enzimática del hongo, que lo hacen apto para alimentación de rumiantes. El aumento de proteínas, digestibilidad y la disminución en el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa fueron algunos de los resultados observados, los cuales se discutirán más adelante.

## 2.4. Acción y beneficios del hongo sobre el sustrato a base de bagazo de caña de azúcar

Entre los beneficios obtenidos en un ensayo preliminar, inoculando 5 % de semilla de *P. ostreatus* a los sustratos preparados con bagazo de caña procedentes de los municipios de Quipile y Cajibío, se encuentra el aumento de proteínas. En la mezcla que contiene bagazo molido del municipio cundinamarqués de Quipile se observó un aumento del porcentaje de proteínas crudas de hasta 6,63 % a los 30 días de incubación; y en el de Cajibío se observó una concentración de proteína cruda de 10,98 % a los 15 días de incubación.

Con relación a los componentes de la pared celular del sustrato hubo una disminución de lignina, celulosa y hemicelulosa a través del tiempo utilizan-

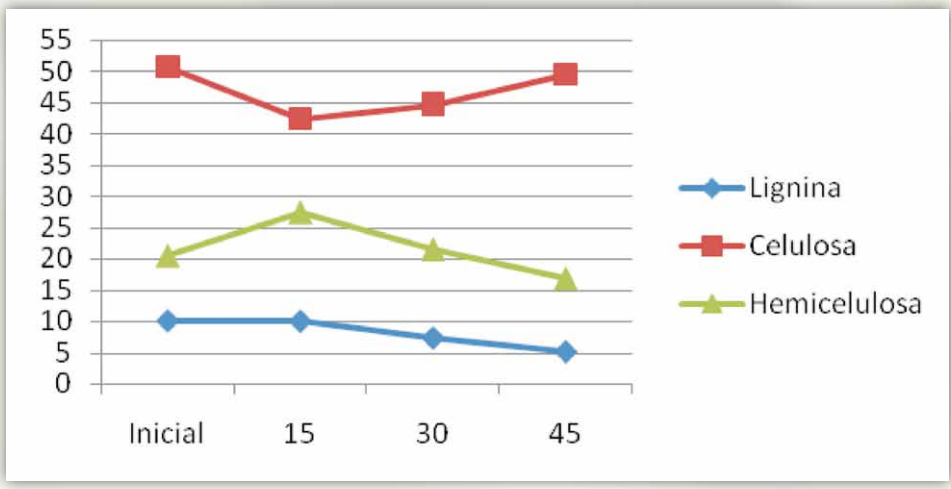



**Figura 18.** Evolución de los componentes de la pared celular del sustrato preparado con bagazo de caña de azúcar proveniente de Quipile e inoculado con *P. ostreatus* durante 45 días de evaluación.

do 5 % de semilla de *P. ostreatus* (figuras 18 y 19). La lignina disminuyó en un 68,3 % en el sustrato que contenía el bagazo de Cajibío, y el que contenía el de Quipile en un 53,2 %. La celulosa se redujo en un 17 % con el bagazo de Cajibío y un 16,4 % con el de Quipile. Por último, la hemicelulosa mostró un decrecimiento en su concentración en un 7 % con el bagazo de Quipile y un 44 % con el de Cajibío.

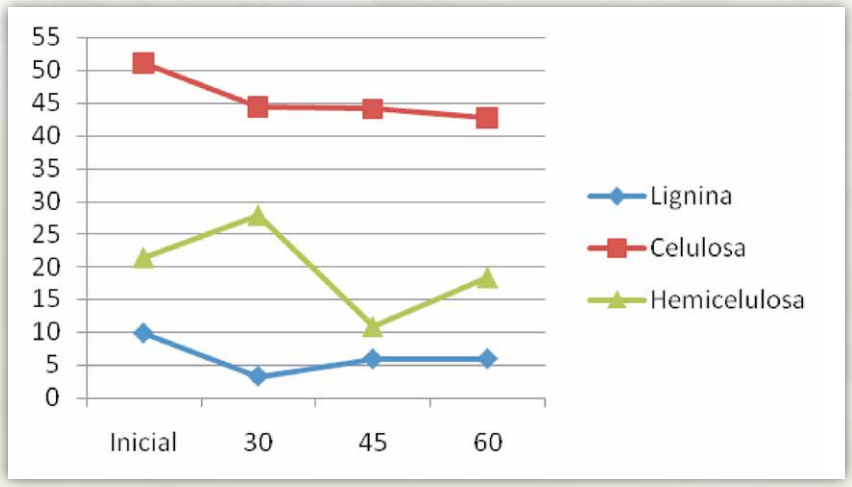



**Figura 19.** Efecto de *P. ostreatus* al 5 % sobre componentes estructurales de la mezcla con bagazo procedente de Cajibío.

Los anteriores resultados explican el aumento de digestibilidad en los sustratos provenientes de las dos regiones paneleras colombianas, con un incremento porcentual de 3 y 25 % para Quipile y Cajibío respectivamente. Sin

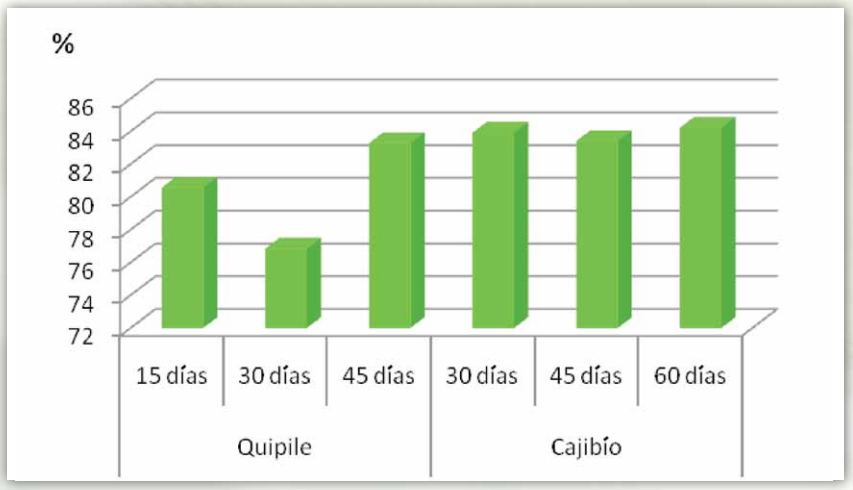



**Figura 20.** Dinámica de humedad presentada en los sustratos procedentes de Quipile y Cajibío.

embargo, se espera en estudios futuros seguir optimizando el sustrato para mejorar la digestibilidad.

Por otro lado, los sustratos presentaron humedades altas durante todo el proceso: invasión del micelio (15 días), primera (30 días), segunda (45 días) y tercera cosecha (Cajibío) (Figura 20). La humedad tiende a aumentar a medida que crece el micelio como producto del metabolismo del hongo y por la humedad relativa alta que se debe mantener en el ambiente.

## 2.5. Eficacia biológica

Para cuantificar la producción de cuerpos fructíferos se debe tener en cuenta la eficacia biológica obtenida al relacionar el peso de las setas frescas producidas por el peso del sustrato seco, que se expresa en porcentaje. Se buscan eficacias biológicas mayores a 50 % e idealmente de 70 %. En el ensayo realizado por CORPOICA con *P. ostreatus* a concentraciones de 5, 15 y 20 % con bagazo molido mezclado con salvado de trigo y carbonato de calcio, las eficacias promedio más altas obtenidas fueron 40,3 %, 51,7 % y 45,7 % respectivamente. Esto nos indica que la mayor producción de orellanas se obtuvo al inocular el sustrato con un 15 % de semilla de *P. ostreatus*; pero esta concentración no es rentable en un cultivo comercial, y por tanto siempre se trabajó con el 5 %. Además, se debe recordar que el objetivo del trabajo fue la producción de suplemento a partir de bagazo enriquecido con *Pleurotus* sp., y como se describió anteriormente, se logró con un 5 % de semilla inoculada aumentando la concentración de proteínas y la digestibilidad.

## 2.6. Valor económico de la producción del sustrato de bagazo enriquecido

El sustrato de bagazo enriquecido puede ser considerado como un subproducto o un co-producto de la producción de orellana debido a que estos (el hongo y el bagazo enriquecido) se obtienen simultáneamente en un mismo proceso productivo (el cultivo de orellanas) y no son separables, pues no se puede obtener uno sin producir el otro. La anterior circunstancia hace difícil cuantificar el costo de manera individual del bagazo enriquecido; con todo, a continuación se presenta un ejercicio que permite estimar un costo para este material, el cual puede ser utilizado posteriormente como materia prima de un nuevo proceso productivo: la producción de un bloque nutricional para bovinos a partir del bagazo de caña enriquecido con el material micelial de la orellana.

En la Tabla 6 se presentan los conceptos de costo que pueden vincularse directamente a la producción del sustrato enriquecido. Se observa que de esta estructura de costos se han eliminado todas los operaciones que tienen que ver con el manejo del hongo después de cosechado. De esta manera, el costo de producción del sustrato de bagazo de caña enriquecido se calcula como el 20 % de la sumatoria de los costos de cultivo y cosecha del hongo. Cabe anotar que se ha estimado únicamente un 20 % del costo del cultivo, pues el producto principal del proceso productivo es la obtención de los carpóforos del hongo destinados a la alimentación humana. A su vez, teniendo en cuenta que el sustrato de bagazo enriquecido puede ser utilizado como insumo en la fabricación del bloque nutricional a nivel de finca, no se ha estimado la utilidad ni la rentabilidad en la venta del sustrato.

**Tabla 6. Estructura de costo de producción del sustrato de bagazo de caña enriquecido nutricionalmente.**

| CONCEPTO | CANT. | UNIDAD | PRECIO UNIDAD (COP) | VALOR TOTAL (COP) | PARTICIPACIÓN % |
|---|---|---|---|---|---|
| **1. Mano de obra** | | | | | |
| Administración | 0,10 | Salario integral | 1.500.000 | 150.000 | **8,4** |
| Operarios | 1 | Salario mínimo | 824.264 | 824.264 | **46,0** |
| **2. Materia prima** | | | | | |
| Bagazo "seco" | 125 | Kg | 90 | 11.250 | **0,6** |
| Transporte del bagazo | 1 | Viaje | 30.000 | 30.000 | **1,7** |
| Semilla del hongo | 40 | Kg | 9.500 | 380.000 | **21,2** |
| Salvado de trigo | 115 | Kg | 575 | 66.125 | **3,7** |
| Carbonato de calcio | 10 | Kg | 1.000 | 10.000 | **0,6** |
| Agua | 750 | L | 2,5 | 1.875 | **0,6** |
| **3. Materiales** | | | | | |
| Bolsas plásticas transparentes calibre 1 | 500 | Unidad | 33 | 16.500 | **0,9** |
| Bandas plásticas | 0,5 | Kg | 10.000 | 5.000 | **0,3** |
| Micropore | 1 | rollo | 3.000 | 3.000 | **0,2** |
| Fibra plástica | 1 | rollo | 12.000 | 12.000 | **0,7** |
| Plástico atrapamoscas | 1 | m | 2.088 | 2.088 | **0,1** |
| Pegante atrapamoscas | 0,05 | L | 43.000 | 2.150 | **0,1** |
| **4. Servicios** | | | | | |
| Gas natural | 1 | cilindro 30 libras | 30.000 | 30.000 | **1,7** |
| Electricidad | 50 | Kw/h | 262 | 13.100 | **0,7** |
| Agua y alcantarillado | 10 | m3 | 2.500 | 25.000 | **1,4** |
| Arriendo instalación planta | 1 | Mes | 180.000 | 180.000 | **10,0** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **5. Depreciación de equipos** | | | | | |
| Básculas grameras | 2 | Unidad | 700 | 1.400 | **0,1** |
| Pica pastos | 1 | Unidad | 9,000 | 9.000 | **0,5** |
| Termohigrómetro | 2 | Unidad | 750 | 1.500 | **0,1** |
| Sistema de riego | 1 | Unidad | 3.333 | 3.333 | **0,2** |
| Estantes | 10 | Unidad | 833 | 8.333 | **0,5** |
| Utensilios varios | 1 | Global | 2.467 | 2.467 | **0,1** |
| Estufa | 2 | Unidad | 975 | 1.950 | **0,1** |
| Canecas galvanizadas | 2 | Unidad | 750 | 1.500 | **0,1** |
| | | | | | |
| **Total** | | | | **1.791.835** | **100,00** |
| | | | | | |
| Proporción del costo aplicado al sustrato | 20 | % | | 358,367 | |
| Costo de producción del sustrato enriquecido | 820 | Kg | 437 | 358,367 | |

# 3. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SUPLEMENTO PARA RUMIANTES A PARTIR DE BAGAZO ENRIQUECIDO

## 3.1. Aspectos conceptuales

**3.1.1. Alimento.** Cualquier sustancia de origen vegetal, animal o mineral que contenga uno o varios principios que la química ha catalogado como nutrientes básicos (hidratos de carbono, grasas, proteínas, vitaminas y sales orgánicas) y que es ingerida por los seres vivos con el fin de regular el metabolismo y mantener las funciones fisiológicas. En general un alimento está constituido por nitrógeno, oxígeno, carbono e hidrógeno, y proporciona a los animales los denominados principios inmediatos para satisfacer sus necesidades nutritivas.

**3.1.2. Nutriente.** Sustancia esencial para el mantenimiento de los seres vivos que se encuentra en los alimentos y proporciona la energía y los "materiales de construcción" de sustancias claves para la vida.

**3.1.3. Ración.** Cantidad de alimento o mezcla de alimentos asignada para 24 horas con el fin de satisfacer los requerimientos del animal.

**3.1.4. Dieta.** Este término viene del griego *díaita*, que significa "forma de vida". Es el conjunto de raciones y alimentos que se consume en un día y cumple con los requerimientos de los animales. En sí es lo que un animal come y bebe normalmente en un día.

**3.1.5. Suplemento.** Es un elemento o mezcla de elementos que contienen por lo menos un ingrediente alimenticio que se suministra por vía oral y a voluntad propia a los animales con el propósito de suplir las deficiencias proteicas, energéticas y minerales que por los constantes cambios en los requerimientos de los animales no son satisfechos en la dieta.

**3.1.6. Bloques multinutricionales.** Son suplementos nutricionales que permiten suministrar nutrientes como proteínas, carbohidratos y minerales de forma lenta y segura. Estos bloques disminuyen las pérdidas de peso durante las épocas secas de baja disponibilidad de forrajes y mejoran la relación proteína-energía en el animal. La facilidad de elaboración, la posibilidad de usar materias primas locales y la versatilidad de su manejo, han incidido en el uso de esta estrategia en ganadería extensiva. Lamentablemente estos bloques han aumentado de precio, puesto que las materias primas empleadas para su fabricación se están empleando en la obtención de biocombustibles.

## 3.2. Formulación y elaboración del suplemento

**3.2.1. Análisis de las materias primas.** En la formulación del suplemento proteico-energético a partir de bagazo enriquecido con micelio -al cual se le dio el nombre de Suplebac- se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en el laboratorio con referencia al contenido de proteína cruda, componentes de la pared celular, humedad y digestibilidad de la mezcla con bagazo entre 45 a 60 días después de inoculado *P. ostreatus*. Estos resultados se describieron en el numeral 2.4.

En la producción del suplemento se utilizaron otros compuestos, como miel panelera con una concentración del 70 % grados Brix[27], urea (con un contenido de nitrógeno de 46 % y humedad del 0,5 %), sal mineralizada con un 6 % de fósforo y cemento blanco (óxido de hierro al 1 %, óxido de magnesio al 7 % y trióxido de azufre al 3,5 %) o gris (óxido de magnesio al 6 % y trióxido de azufre al 3,5 %) para uso general.

La determinación de humedad es muy importante, ya que para la elaboración de un suplemento es necesario trabajar en base seca debido a la variabilidad del agua en la composición, que haría incierta la formulación con material húmedo. El contenido de materia seca permite conocer verdaderamente la cantidad de alimento que efectivamente se le suministra a un animal en la ración.

**3.2.2. Proporciones de materias primas.** Teniendo en cuenta lo anterior, la disponibilidad de recursos de las zonas y el costo de las materias primas, se determinaron las proporciones para dos formulaciones que se llamaron Suplebac 1 y 2 (Tabla 7) mediante cálculos matemáticos.

27 / Miden el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido. Una solución de 25 °Bx tiene 25 g de azúcar (sacarosa) por 100 g de líquido o, dicho de otro modo, hay 25 g de sacarosa y 75 g de agua en los 100 g de la solución.

**Tabla 7. Porcentajes utilizados para la elaboración de los dos suplementos.**

| Componente | Suplebac 1 % | Suplebac 2 % |
|---|---|---|
| Bagazo enriquecido | 50 | 35 |
| Miel panelera | 40 | 40 |
| Sal mineralizada | 10 | 5 |
| Urea | | 10 |
| Cemento | | 10 |

Como se observa en la Tabla 6, se prepararon dos suplementos de consistencia diferente. Suplebac 2 es un suplemento nutricional en forma de bloque que contiene como compactador el cemento y dos fuentes ricas en nitrógeno, una de origen proteico microbiano (bagazo enriquecido) y la otra no proteico (urea). La fuente de carbono en los suplementos es aportada por el bagazo y por la miel panelera, cuyo porcentaje permite una buena palatabilidad del suplemento. La sal común también es utilizada en los suplementos debido a su palatabilidad.

**3.2.3. Secado del bagazo enriquecido.** Existen muchas maneras de secar el bagazo enriquecido, pero la más utilizada en campo es la exposición de este material a los rayos solares, lo que provoca pérdida de líquido por evaporación hasta obtener la humedad apropiada (12-15 %). En la Figura 21 se observa cómo se procedió a secar el bagazo enriquecido con micelio en Quipile.

**Figura 21.** Procedimiento utilizado en Quipile para secar el bagazo enriquecido con micelio de *P. ostreatus*.

**3.2.4. Pesaje y mezcla.** La cantidad de mezcla se determina de acuerdo con la cantidad de suplemento que se va a preparar para suministrar al animal y se pesa utilizando una balanza calibrada para lograr mayor exactitud. Los suplementos se pueden hacer en cualquier recipiente que tenga el tamaño suficiente para contener la totalidad del material y que permita el libre movimiento con menor cantidad de desperdicio; en este caso se utilizaron baldes, pero se pueden usar bateas u ollas de gran tamaño.

Para la incorporación de los ingredientes en el caso de Suplebac 1 es importante integrar primero la miel con la sal mineralizada y luego agregar el bagazo enriquecido. Para Suplebac 2 la prioridad inicial es la disolución de la urea en la miel panelera sin adicionar agua; esta incorporación se debe hacer con anterioridad a la preparación del suplemento logrando la disolución completa de las partículas de urea en la miel panelera para el momento de la preparación. Aparte se mezcla la sal mineralizada con el bagazo y se adiciona al recipiente que contiene la mezcla miel panelera-urea. Finalmente, a la mezcla anterior se le hace un hoyo en el centro para adicionar el cemento (blanco preferiblemente) y se bate vigorosamente hasta obtener uniformidad y consistencia de la mezcla.

**Figura 22.** Preparación de la mezcla mediante agitación manual.

**3.2.5. Moldeado.** Cuando se alcanza el punto de uniformidad y consistencia deseada se coloca el material en los moldes donde previamente se ha puesto un periódico o una capa de pasto seco para evitar la adherencia del material al recipiente, facilitando de este modo la extracción del bloque. Una vez se agrega el material en los moldes se ejerce presión con un mazo u otro equi-

po (Figura 23) comenzando por las orillas y luego hacia adentro, golpeando uniformemente para dar la dureza necesaria para ser suministrada a los animales. Este punto es clave en los bloques, ya que de la dureza dependerá el consumo; además, la dureza permite la liberación lenta y continua de la urea evitando intoxicación del animal por consumo elevado de esta sustancia.

**Figura 23.** Equipo utilizado para darle dureza a los bloques.

**3.2.6. Secado y almacenamiento.** Los moldes con los bloques se ubican en un lugar ventilado y sombrío alrededor de ocho días para que la mezcla pierda humedad y obtenga la consistencia para ser almacenada o suministrada a los animales. Una vez que el bloquie esté seco se retira el molde (Figura 24) y se almacena en un lugar fresco y ventilado para su posterior utilización.

**Figura 24.** Bloque seco listo para ser consumido por el animal o para ser almacenado

**3.2.7. Composición nutricional de los suplementos preparados.** El valor nutricional de los dos suplementos preparados se observa en la Tabla 8.

**Tabla 8. Composición nutricional de Suplebac 1 y 2**

| Analito | Unidad | Suplebac 1 | Suplebac 2 |
|---|---|---|---|
| Proteína | % | 7,59 | 35,54 |
| Fibra cruda | % | 19,77 | 8,87 |
| Grasa | % | 0,99 | 0,33 |
| Energía | Mcal/kg MS | 3.433 | 2.690 |
| Digestibilidad | % | 52,06 | 83,91 |

Los dos suplementos muestran diferencias en su composición nutricional: Suplebac 2 aporta más proteína y es más digestible que Suplebac 1, pero tiene más fibra cruda y grasa; aunque el último componente hace que aporte mayor energía que Suplebac 2.

## 3.3. Diseño y evaluación de dietas

**3.3.1. Generalidades del suministro de suplemento al animal en forma de bloque.** El suministro del suplemento en forma de bloques nutricionales debe hacerse *ad libitum*, es decir, a voluntad del animal, garantizando la disposición de este durante todo el día. Es importante saber que un animal aproximadamente consume 50 g de bloque nutricional/100 kg de peso vivo al día (Becerra, 2004); teniendo en cuenta este dato, se pueden calcular los consumos según el peso del animal (Tabla 9).

**Tabla 9. Consumos diarios de bloque nutricional según peso del animal.**

| Peso animal vivo (kg) | Consumo bloque nutricional (g/día) |
|---|---|
| 100 | 50 |
| 150 | 75 |
| 200 | 100 |
| 250 | 125 |
| 300 | 150 |
| 350 | 175 |
| 400 | 200 |
| 450 | 225 |

Teniendo el conocimiento del consumo diario por animal y el número total de animales se puede calcular la cantidad de suplemento a elaborar durante un periodo determinado, garantizando el alimento durante épocas críticas o en el transcurso del año.

**-Acostumbramiento del animal al suplemento.** Se realizaron bioensayos en Quipile y Cajibío con el fin de adaptar, aclimatar y acostumbrar los animales al proceso de confinamiento, consumos de material picado (pasto de corte y cogollo de caña) y suplemento a base de bagazo enriquecido. Igualmente, se quería llevar los semovientes[28] a un peso de preceba entre 250 a 300 Kg. La metodología empleada para el ajuste de dietas fue al tanteo con base en el análisis bromatológico de los insumos (proteína cruda, energía metabolizable (EM), materia seca, fibra en detergente ácido (FDA), fibra en detergente neutro (FDN), calcio y fósforo) (Tabla 10), y teniendo en cuenta los requerimientos de los animales según su peso inicial.

**Tabla 10. Contenido nutricional de las materias primas que conformaron la dieta de los bovinos.**

| Materias primas | Materia seca (%) | Proteína cruda % | FDA % | FDN % | EM % | Ca % | P % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| King grass | 18-23,2 | 8,1-9,3 | 42,1 | 67,9 | 1,95 | 0,25 | 0,17 |
| Cogollo de caña | 25-28 | 4,3-4,74 | 28,46 | 53,85 | 1,89-2,38 | 3,8 | 1,1 |
| Torta de soya | 91,9 | 46 | --- | --- | 3,04 | 0,44 | 0,8 |
| Gallinaza | 87 | 16 | --- | --- | 2,08 | 11,29 | 1,34 |

El bioensayo en la Virgen se realizó durante 183 días, preparando 100 Kg de Suplebac 2 para un consumo de 85 Kg, que equivale a un promedio de 104 g/animal/día. Las dietas suministradas a nueve animales de raza Brahman en confinamiento fueron a base de cogollo de caña (20 kg), jugo de caña (3 kg), torta de soya (0,8 kg), suplemento a base de bagazo de caña enriquecido, sal mineralizada y agua. El peso inicial fue en promedio 200 Kg y al terminar el experimento fue de 278 kg.

Por su parte, el bioensayo realizado en Cajibío tuvo una duración de 128 días utilizando Suplebac 1 y una dieta a base de pasto King grass, cogollo de caña, torta de soya, suplemento a base de bagazo enriquecido, sal mineralizada y agua. El incremento fue de 101 Kg durante el periodo del experimento, para un promedio de ganancia diaria de 789 g. Se utilizaron también nueve animales para este experimento de acostumbramiento. El balance de dietas se hizo mediante la metodología de tanteo, utilizando tanto los análisis bromatológicos reportados en la Tabla 10 como los requerimientos del animal.

28 / Término jurídico que se refiere a la parte del patrimonio del sujeto del derecho que es capaz de moverse por sí solo. La condición de semovientes la representan los animales en producción económica, como son las cabezas de ganado.

Las diferencias de ganancia de peso en los bioensayos se deben en parte a que las proporciones de pasto King grass y cogollo de caña fueron diferentes para ambos sitios. En el caso de Cajibío la proporción fue 75 % de pasto King grass y 25 % de cogollo de caña de azúcar; mientras que para Quipile la proporción fue a la inversa, 75 % de cogollo y 25 % de pasto King grass. A mayor pasto disponible hay mayor rendimiento, y por tanto mayor ganancia de peso.

**3.3.2. Diseño experimental y ganancia de peso.** Una vez los animales se acostumbraron al suplemento se llevaron a cabo dos experimentos con distribución completa al azar en los municipios paneleros de Quipile y Cajibío, teniendo como tratamientos tres dietas diferentes con y sin suplemento (Tabla 11) con tres repeticiones por tratamiento, para un total de nueve unidades experimentales. Se evaluó la ganancia de peso diario de los animales durante 147 días en Quipile y 128 días en Cajibío. Se debe tener en cuenta que en esta última localidad se llevó a cabo un balance de dietas para los novillos de ceba que hacían parte del experimento ajustándolas de acuerdo al peso del animal, a diferencia de Quipile, donde no se realizó este balance.

**Tabla 11. Tratamientos utilizados en los municipios de Quipile (Cundinamarca) y Cajibío (Cauca).**

| Componente | Unidad | Tratamientos (T)* por municipio | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cajibío | | | Quipile | | |
| | | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| Pasto King grass | Kg | 18 | 18 | 18 | 9 | 9 | 9 |
| Cogollo caña de azúcar | Kg | 3 | 3 | 3 | 21 | 21 | 21 |
| Gallinaza | Kg | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Caña panelera | Kg | 6 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Jugo de caña | Kg | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 |
| Azufre | g | 30 | 30 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Sal mineralizada | | A voluntad | A voluntad | A voluntad | A voluntad | A voluntad | A voluntad |
| Miel | Kg | 0,6 | 0,6 | 0,6 | | 0 | 0 |
| Torta de soya | Kg | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Nutrebloque distribuido por Solla | | 0 | A voluntad | 0 | 0 | A voluntad | 0 |
| Suplebac 2 | | 0 | 0 | A voluntad | 0 | 0 | A voluntad |

*-T1: Sin suplemento (Testigo) -T2: Suplemento comercial Nutrebloque PSP de Solla -T3: Suplebac 2

En Cajibío, al final de la evaluación no se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos (Anexo 6.2), obteniendo el mayor promedio nutrebloque PSP de Solla, seguido por Suplebac 2, y por último el tratamiento sin suplementación (Figura 25).

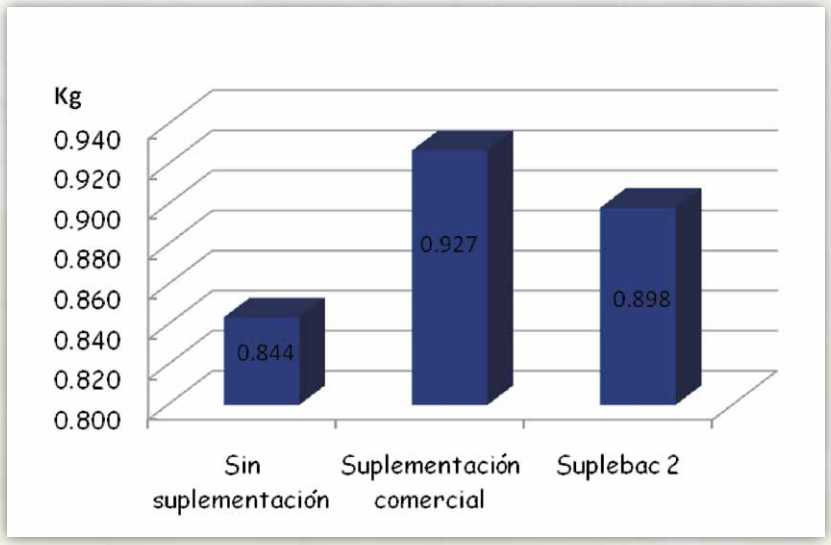



**Figura 25.** Diferencias en la ganancia de peso promedio diaria entre los tratamientos utilizados en el municipio de Cajibío (Cauca).

Al contrario, en Quipile sí se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos en el periodo de estudio (Anexo 6.3), mostrando -en promedio- mayor ganancia de peso las unidades experimentales alimentadas con el suplemento preparado con bagazo enriquecido con micelio fúngico (Suplebac 2), seguido por el suplemento comercial nutrebloque PSP de Solla, y por último el tratamiento sin suplementación (Tabla 12 y Figura 26). La prueba de rango múltiple de Duncan indica que Suplebac 2 presenta diferencias estadísticamente significativas con los otros tratamientos, siendo el mejor tratamiento.

**Tabla 12. Ganancia de peso diaria promedio de animales de ceba confinados en el municipio de Quipile durante 147 días.**

| Tratamientos | Ganancia de peso (Kg/día)* |
|---|---|
| Sin suplementación | 0,710 b |
| Nutrebloque PSP | 0,825 b |
| Suplebac 2 | 1,075 a |

* P = 0,024 Las letras indican los niveles de la prueba de rango múltiple de Duncan, donde letras iguales indican promedios estadísticamente iguales. El primer nivel está representado por la letra a.

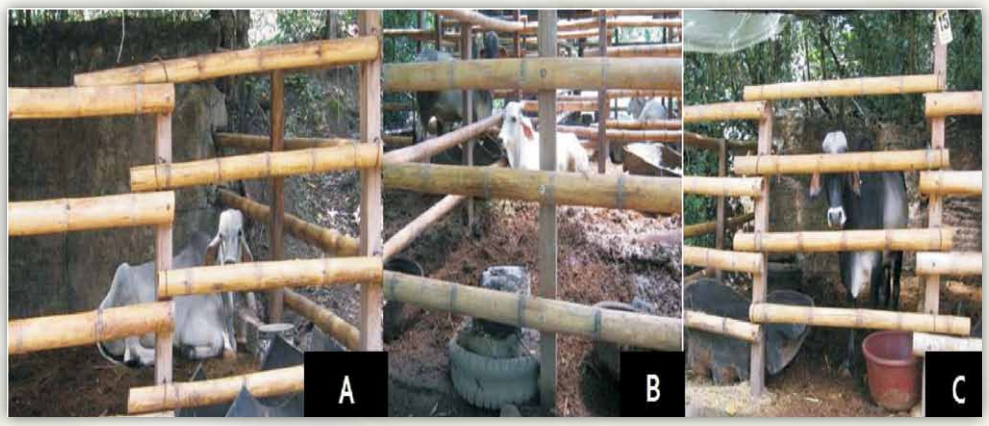



**Figura 26.** Animales alimentados solo con dieta a base de pasto King grass 26 %, cogollo de caña 60 %, jugo de caña 12 % y torta de soya 2 % (A), suplementados con nutrebloque PSP (B) y Suplebac 2 (C) en el municipio de Quipile.

Los resultados obtenidos en varias investigaciones al utilizar bagazo de caña de azúcar en la dieta de rumiantes con otros sustratos son muy variados, con ganancias de 0,2 hasta 1,6 Kg/día. Al comparar los resultados obtenidos con dietas que utilizaron bagazo entre el 20-40 % y levadura como suplemento proteico, bagazo con melaza, ajonjolí y urea o 10-20 % de ensilaje de bagazo de caña con gallinaza, se observan ganancias menores que la lograda con Suplebac 2, con valores que oscilaron entre 0,234-830 Kg/día. Sin embargo, en otras investigaciones se reportan datos similares o mayores con incrementos entre 1 y 1,62 Kg/día, al incluir en la dieta porcentajes diarios de bagazo de caña de azúcar entre 20-30 %, melaza, harina de pescado, maíz, minerales y vitaminas, 25 % bagazo con paja de arroz y desechos de cerveza, además de bagazo con harina de germen de maíz, cáscara de soya y pulpa de cítricos o bagazo de caña fortificado como única fuente de forraje.

**3.3.3. Conclusiones.** Con una dieta balanceada no se necesita administrar suplemento al animal, ya que se le están dando todos los requerimientos. En un sistema de confinamiento suministrando dietas debidamente balanceadas según los requerimientos de cada etapa fisiológica del animal la suplementación no se requiere; mientras que en el sistema de confinamiento con dietas no balanceadas la suplementación es necesaria, y tiene un efecto positivo para animales. Lo mismo en pastoreo, sea en épocas de buenos pastos o épocas críticas es recomendable hacer la debida suplementación, puesto que complementa la alimentación con proteínas, energía y minerales. Sumado a esto, se están aprovechando residuos como el bagazo y otros recursos disponibles en la finca.

## 3.4. Análisis económico de la suplementación

El proceso de elaboración de un bloque nutricional a partir del bagazo de caña enriquecido es un proceso muy sencillo para realizar a nivel de finca, especialmente en aquellas de producción de caña panelera que desarrollan programas de producción bovina. En efecto, en estos casos el productor panelero dispone de la materia prima para producir el sustrato (bagazo de caña) y enriquecerlo nutricionalmente con el crecimiento de los hongos. Así mismo, al disponer de bovinos para ceba estará interesado en encontrar las dietas que le permita obtener la mayor conversión al mínimo costo, utilizando de preferencia la biomasa producida en la misma finca.

De esta forma, la producción de orellana para el productor de panela cumple varias funciones, pues le permite generar un mayor valor agregado en la finca con la producción del hongo, mejorar la dieta alimenticia del núcleo familiar por el alto valor nutricional de la orellana, disminuir los problemas de desecho de materiales de poscosecha de la producción panelera y aprovechar económicamente los subproductos de la finca en renglones de producción de mayor valor como la ganadería.

En la estructura de costos de producción del suplemento proteico-energético (Tabla 13) se observa que el concepto de mayor peso está relacionado con materias primas, y dentro de ellas el costo de la miel y del bagazo de caña, recursos que están ampliamente disponibles en la finca panelera y permiten la implementación de programas ganaderos en condiciones rentables y sostenibles. De otra manera, si se trata de fincas que quieren realizar las mezclas de materias primas para la producción del bloque nutricional de bagazo enriquecido y su objetivo es venderlo, muy seguramente obtendrán rentabilidades cercanas al 55 % y recursos líquidos adicionales para atender las necesidades de consumo de la familia, así como los requisitos de inversión en dicha finca.

## 3.5. Recomendaciones para la implementación de un sistema de levante y ceba de bovinos en estabulación con suplementación

Para la implementación de un sistema de producción de levante y ceba de bovinos en estabulación se han de tener en cuenta, entre otros, los siguientes factores: las instalaciones, tipo de ganado, alimentación, manejo sanitario y del animal, y un control detallado de las diferentes actividades tanto técnicas como administrativas mediante registros diarios.

**Tabla 13. Estructura de producción del suplemento proteico-energético para bovinos a base de bagazo enriquecido de caña de azúcar.**

| CONCEPTO | CANT. | UNIDAD | PRECIO UNIDAD (COP) | VALOR TOTAL (COP) | PARTICIPACIÓN % |
|---|---|---|---|---|---|
| **1. Mano de obra** | | | | | |
| Operarios | 0,5 | Jornales | 25.000 | 12.500 | **1,8** |
| **2. Materia prima** | | | | | |
| Sustrato (bagazo enriquecido) | 450 | Kg | 437 | 196.665 | **28,7** |
| Miel de caña de 70 ° Brix | 450 | Kg | 800 | 360.000 | **52,6** |
| Sal mineralizada | 100 | Kg | 683 | 68.250 | **10,0** |
| **3. Materiales** | | | | | |
| Bolsas plásticas | 500 | Unidad | 40 | 20.000 | **2,9** |
| Fibra plástica | 0,5 | Rollo | 12.000 | 6.000 | **0,9** |
| **4. Servicios** | | | | | |
| Arriendo instalación bodega | 1 | Mes | 20.000 | 20.000 | **2,9** |
| **5. Depreciación de equipos** | | | | | |
| Báscula 50 Kg | 1 | Unidad | 833 | 833 | **0,1** |
| | | | | | |
| **Total** | | | | **684.248** | **100,00** |
| | | | | | |
| Costo producción del suplemento | 1,000 | Kg | 684 | 684.248 | |
| Ingreso por venta | 1,000 | Kg | 2.200 | 2.200.000 | |
| Utilidad | 250 | Kg | 1.516 | 378.938 | |
| Rentabilidad | | % | | | **55,38** |

**3.5.1. Instalaciones.** En el estudio realizado por CORPOICA en los dos municipios paneleros colombianos de Quipile y Cajibío, donde se manejó un sistema de confinamiento, para las instalaciones se habilitaron corrales por módulos con un área de 12 $m^2$ por animal. Cada corral contó con sus respectivos comederos y saladeros e igualmente se dispuso una cama a base de bagazo seco. Se recomienda que los corrales tengan puertas, un embudo para el acceso del ganado, un brete, una báscula y una división donde se pueda sacar los animales en caso de ser necesario.

**3.5.2. Tipo de ganado.** La genética del animal juega un papel importante toda vez que se requiere que los semovientes conviertan rápidamente el alimento consumido en carne, por lo que se deben preferir razas de ganado especializadas, con un buen vigor híbrido. En nuestro medio el ganado Cebú y sus cruces son los más utilizados, aunque existen razas de carne como el Angus, Simmental, Limousin y Brangus, con los cuales se obtienen muy buenos resultados.

**3.5.3. Alimentación.** Es quizás uno de los factores más importantes a tener en cuenta en un sistema bajo confinamiento. Es primordial anotar que siendo el suministro de forraje el principal producto usado en nuestro medio, debe estar disponible tanto en calidad como cantidad. Además, con base en los resultados del presente estudio, es necesario disponer de la caña de azúcar y sus subproductos (miel, jugo, melote) como parte de las materias primas para la elaboración de las dietas, así como pasto de corte, sal, agua y el correspondiente suplemento.

Con base en los resultados obtenidos en los dos experimentos, cuando se suministra una dieta balanceada –con una relación entre pasto King grass y el cogollo de caña de 3:1 (75 % de pasto y 25 % de cogollo)– más una materia prima de alto contenido de proteína (torta de soya), no se requiere hacer suplementación adicional porque la dieta se balancea con base a los requerimientos de los animales.

Por otra parte, si la dieta no es balanceada con un porcentaje pasto King grass y cogollo de caña de 25 % y 75 % respectivamente, se sugiere hacer la suplementación energética proteica con el suplemento elaborado en este proyecto, teniendo en cuenta que la calidad nutricional de los forrajes determina las necesidades de suplementación. Además, la calidad está relacionada con el manejo de las gramíneas, por tanto se puede fijar cierto nivel de inclusión del suplemento con mezcla de forrajes de buena y mala calidad.

**3.5.4. Manejo del animal.** Lo primero a tener en cuenta cuando se quiere alimentar animales en confinamiento es adaptarlos a dicho confinamiento y acostumbrarlos al consumo tanto del alimento como del suplemento, que en este caso fue a partir de bagazo enriquecido con micelio fúngico. Si se quiere en la finca producir la orellana como valor agregado, es necesario adecuarla buscando establecer una planta piloto de acuerdo con lo descrito en el numeral 1.5.9. Posteriormente, antes de finalizar el ciclo productivo del hongo es recomendable empezar a construir o adecuar los corrales donde se van a alojar los animales (Figura 27).

**Figura 27.** Corrales en Cajibío (izquierda) y Quipile (derecha)

**3.5.5. Manejo sanitario.** En este estudio los bovinos fueron vacunados contra fiebre aftosa y se les aplicó la vacuna triple, ivermectina para parásitos internos (lombrices) y para el control de parásitos externos (nuche y garrapata).

El manejo de las excretas se debe hacer cada semana, y aunque la relación C:N es buena para la elaboración del compostaje, se recomienda incorporar bagazo de caña seco, lo cual permite actuar como secante y absorbente de la humedad.

**3.5.6. Registros.** Los principales registros en el sistema que estamos describiendo son el de ingreso, salida y peso de los animales. El peso del animal debe ser monitoreado semanalmente para realizar -si es necesario- correctivos, ver la evolución del animal y el consumo de suplemento. Es importante hacer cálculos para que una vez iniciado el ciclo del cultivo de la orellana se coordine con la preparación del suplemento, de manera que el suministro del suplemento a base de bagazo con el micelio del hongo sea periódico y nunca le falte al animal.

# 4. PERSPECTIVAS

Los resultados obtenidos con relación a la acción de *Pleurotus* sp. sobre la mezcla con bagazo de caña de azúcar en las dos regiones paneleras son promisorios en la medida que aumentaron la digestibilidad y el contenido proteico enriqueciendo el sustrato; esto se convierte en el punto de partida para continuar con investigaciones que mejoren los requerimientos del sustrato para permitir una mejor acción del hongo y por ende un enriquecimiento mayor del sustrato y aumento en la producción de orellanas a porcentajes comercialmente competitivos.

Con relación al suplemento energético-proteico, también es importante continuar investigándolo como complemento de dietas no balanceadas y en sistemas de pastoreo, optimizando la formulación para mejorar los rendimientos de carne en el sector ganadero a un bajo costo.

# 5. BIBLIOGRAFÍA


Ahammed, S. y Prema, P. (2002). *Influence of media nutrients on synthesis of lignin peroxidase from Aspergillus sp. Applied Biochemistry and Biotechnology*, 102-103 (1-6): 327-336.

Albarracín, L. C. (2003). *Manual de bovinos*. Bogotá, Colombia: Produmedios. 63 p.

Albarracín, L. C.; Reinel, H.; Arguelles, J.; Quiceno, J.; Mateus, H.; Osorio, G.; Becerra, J. J.; Pardo, O. y Cuadrado, H. (2007). *Alternativas energéticas a partir de la caña de azúcar como suplemento en la alimentación de bovinos*. Bogotá, Colombia: Produmedios. 61 p.

Alemawor, F.; Dzogbefia, V. P.; Oddoye E. O. K. y Oldham J. H. (2009). *Effect of Pleurotus ostreatus fermentation on coca pod husk composition: Influence of fermentation period and $Mn^{2+}$ supplementation on the fermentation process*. African Journal of Biotecnology, 8 (9): 1950-1958.

AuthorStream. (2010). *El trigo 05 Canadá*. En: http://www.authorstream.com/Presentation/aSGuest37039-315075-EL-TRIGO-05-CANADA-can-Product-Training-Manuals-ppt-powerpoint/. Consulta: agosto 31 de 2010.

Bao, D.; Kinugasa, S. y Kitamoto, Y. (2004). *The biological species of oyster mushrooms (Pleurotus spp.) from Asia based on mating compatibility test*. Journal of Wood Science, 50 (2): 162-168.

Becerra, J. (2004). *Observaciones sobre elaboración y consumo de bloques Melaza/Urea*. Universidad de Córdoba.

Bello, A.; Rojas, B. L.; Rojas, L. F.; Almanza, A. y Pinzón, J. (2007). *Curso de producción de hongos comestibles a cargo de laboratorio Biofungi-Micoteca*. Bogotá, Colombia.

Bertocco, J. M.; Lais, R.; Mendes A. R.; Faturi, C. (2006). *Desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore em confinamento alimentados com bagaço de cana-de- açucar e diferentes fontes energéticas.* Revista brasileira de Zootecnia, 35 (5): 2050-2057. En: http://www.scielo.br/pdf/rbz/v35n5/24.pdf. Consulta: octubre 14 de 2010.

Birbe, E.; Herrera, P.; Colmenares, O. y Martínez, N. (2006). *El consumo como variable en el uso de bloques multinutricionales*. X Seminario de Pastos y Forrajes: 43-61 p.

Bocel, J. E.; Pérez, G.; Ramos, L. A.; Pedro F.; Guarcas, V. M.; Xicay M. e Isaías, L. (2009). *Evaluación del hongo ostra Pleurotus ostreatus en pulpa de café, viruta y olote de maíz como sustratos para determinar su rendimiento a 40 días*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Tesis pregrado Agroforestería. Facultad de Ingeniería. Universidad Del Valle. 31 p.

Bueno, L. y Gallardo, R. (1998). *Preservación de hongos filamentosos en agua destilada estéril*. Revista Iberoamericana de Micología, (15): 166 – 168.

Cardona, L. F. (2001). *Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible Pleurotus ostreatus*. Crónica forestal y del medio ambiente, 16: 99-119.

Castaño, N. L. (2010). *Evaluación nutricional del bagazo enriquecido con el hongo (Pleurotus ostreatus), en dietas para bovinos estabulados en ceba, en el municipio de Cajibío, departamento del Cauca*. Popayán, Colombia: Tesis pregrado Ingeniería Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca. 70 p.

Celentano, N. y Montero, K. (2004). *Clasificación de trigo argentino para su comercialización*. Buenos Aires, Argentina: Tesis de Maestría. Agronegocios. Universidad del Cema. 104p.

Crueger, W. y Crueger A. (1993). *Biotecnología: Manual de Microbiología Industrial*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A. 413 p.

Cuevas, S. (2000). *Equilibrio a través de la alimentación*. España: Editorial Sorles. 2da Edición.

Das, N. y Mukherjee, M. (2007). *Cultivation of Pleurotus ostreatus on weed plants*. Bioresource Technology, 98: 2723–2726.

Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos de la Universidad Federal de Santa Catarina. (2004). *Fungos*. En:

http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2004/microorganismos/FUNGOS.html. Consulta: agosto 16 de 2010.

Departamento Nacional de Planeación. (2010). *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario*. En:

http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/Programas/Agriculturapecuarioforestalpescaycaza/Estad%C3%ADsticasdelSectorAgropecuario/Informaci%C3%B3nAgr%C3%ADcola.aspx. Consulta: octubre 30 de 2010.

Escalona, L.; Ponce, I.; Estrada, A.; Solano, G.; Ricardo, O. y Cutiño, M. (2001). *Cambios en la composición bromatología de GARANVER inoculado con una cepa de Pleurotus ostreatus.* Revista de Producción Animal, 13 (1): 21-24.

Fan, L.; Soccol A. T.; Pandy A. y Soccol C. R. (2003). *Cultivation of Pelurotus mushrooms on Brazilian coffee husk and effects of caffeine and tannic acid*. Micología aplicada internacional, 15 (001): 15-21 p.

Fernández, C. M.; Martínez, M.; Oerurena, M. R.; Illnait, M. T. y Valdés, I. (2005). *La colección de cultivos de hongos del Instituto de Medicina Tropical "Pedro Kourí": funciones y retos*. Revista Cubana de Medicina Tropical, 57(3): 1-7.

Franco, M. (2007). *Manual de prácticas de laboratorio. Micología*. Bogotá, Colombia: Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana.

García, H. R.; Albarracín, L. C.; Toscano, A.; Santana, N. J. y Insuasty, O. (2007). *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera*. Bogotá, Colombia: Produmedios. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. 93-105 p.

García, M. (2007). *Cultivo de setas y trufas*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 5ª edición. 256 p.

García, M. D. y Uruburu, F. (1999). *Colección Española de Cultivos Tipo (CECT)*. Universitat de València. En: http://www.uv.es/cect/. Consulta: mayo 18 de 2010.

Garzón, J. P. y Cuervo, J. L. (2008). *Producción de Pleurotus ostreatus sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia*. NOVA-Publicación Científica en Ciencias Biomédicas, 6 (10): 101-236.

Gayosso, M. (2001). *Caracterización de los componentes de un extracto de primordios de Pleurotus ostreatus que induce su fructificación*. México: Tesis Maestría Ciencias Área Biotecnológica. Universidad de Colima. Director: Guzmán, S. Jalisco 78p.

Ghosh, M.; Mukherjee, R. y Nandi, B. (1998). *Production of Extracellular Enzymes by Two Pleurotus Species Using Banana Pseudostem Biomass*. Acta Biotechnology, 18 (3): 243-254.

Graciano, G.; Ávila, E.; Fissati, L.; Antunes, A. P. y Vieira J. A. (2009). *Protein enrichment and digestibility of soft rush (Juncus effuses) and rice residues edible mushrooms Pleurotus ostreatus and Pleurotus sajor-caju.* World Journal of Microbiology and Biotecnology, 25 : 449-456.

Guarín, J. y Ramírez, A. (2004). *Estudio de factibilidad técnico – financiero de un cultivo del hongo Pleurotus ostreatus.* Bogotá, Colombia: Tesis pregrado Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Director: Remolina, D. 83 p.

Guillén-Navarro, G. K.; Márquez-Rocha, F. J. y Sánchez –Vázquez, J. E. (1998). Revista Iberoamericana de Micología, 15: 302-306.

Hernández, R y López, C. (2006). *Evaluación del crecimiento y producción de Pleurotus ostreatus sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca*. Bogotá, Colombia: Tesis pregrado Microbiología Industrial. Pontifica Universidad Javeriana. Director: Suárez, C. 106 p.

Hernández, R. y Salmones, D. (2008). *Obtaining and characterizing Pleurotus ostreatus strains for commercial cultivation under warm environmental conditions.* Scientia Horticulture, 118: 106–110.

Hong, L. S.; Ibrahim, D. y Omar I. (2010). *Microscopic Studies Of Oil Palm Frond During Processing For Saccharification.* The Internet Journal of Bioengineering. Volume 4, Number 2. En: http://www.ispub.com/journal/the_internet_journal_of_bioengineering/volume_4_number_2_56/article/microscopic-studies-of-oil-palm-frond-during-processing-for-saccharification.html. Consulta: septiembre 7 de 2010.

Instituto Nacional de Biodiversidad. (2007). *Hongos de Costarrica.* En: http://www.inbio.ac.cr/papers/hongos/glosario.htm. Consulta: septiembre 17 de 2010.

IPM Images. (2004). *Oyster mushroom Pleurotus ostreatus (Jacq.) Quél.* En: http://www.ipmimages.org/browse/subimages. cfm?sub =596&view=20. Consulta: agosto 20 de 2010.

Job, D. *La utilización de la borra del café como substrato de base para el cultivo de Pleurotus ostreatus (Jacq.:Fr.) Kummer*. Revista Iberoamericana de Micología 21: 195-197

Kuo, M. (2010). *Pleurotus pulmonarius: The Summer Oyster.* En: http://www.mushroomexpert.com/pleurotus_pulmonarius.html. Consulta: agosto 16 de 2010.

Labarère, J. y Bois, F. (2001). *La conservación y el uso de los recursos genéticos de Pleurotus spp*. En: ECOSUR (ed.). *La biología y el cultivo de Pleurotus spp*. México: pp 83-123.

Las Jarillas. *Introducción a la Micología*. En: http://lasjarillas.blogspot.com/. Consulta: agosto 16 de 2010.

Locci, E.; Laconi, S. y Pompei, R. (2008). *Wheat bran biodegradation by Pleurotus ostreatus: A solid-state Carbon-13 NMR study*. Bioresource Technology, 99: 4279–4284.

Madigan, M.; Martinko, J. M. y Parker J. (1998). *Brock, Biología de los microorganismos*. Madrid, España: Prentice Hall. Octava edición revisada. 986 p.

Mane, V. P.; Patil, S. S.; Syed, A. A. y Baig, M. M. V. (2007). *Bioconversion of low quality lignocellulosic agricultural wate into edible protein by Pleurotus sajor-caju (Fr.) Singer.* Journal of Zhejiang University Science B, 8 (10): 745-751

Mansur, M.; Suárez, T. y Fernández-Larrea, J. B. (1997). *Identification of a laccase gene family in the new lignin-degrading basidiomycete CECT 20197.* Applied and Environmental Microbiology, 63 (7): 2637-2646.

Mansur, M.; Arias, M. E.; Flärdh, M. y González, A. E. (2003). *The white-rot fungus Pleurotus ostreatus secretes laccase isoenzymes with different substrate specificities.* Micología, 95 (6): 1013-1020

Masaharu, O.; Witthaya, S.; Rumphrai, N.; Pimpaporn, P.; Taweesak, C. y Somchit, I. (2002). *Development and evaluation of bagasse silage for cattle feed.* JIRCAS Working Report No 30. En: http://www.jircas.affrc.go.jp/english/publication/working/30/30-02-10.pdf. Consulta: octubre 14 de 2010.

Melo, C. S.; Sales-Campo, C., y Nogueira, M. C. (2010). *Mushrooms of the Pleurotus genus: A review of cultivation techniques*. Interciencia, 35 (3): 177-182

Mora, L. V. (2009). *Crecimiento sobre buchón y elodea de Pleurotus ostreatus y efecto de esta especie fúngica sobre la digestibilidad del sustrato lignocelulósico como potencial alimento para rumiantes.* Bogotá, Colombia: Tesis pregrado Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Directores: Martínez-Nieto, P. y García, G. 56 p.

Mitchell, D.; Granato, S. y Esposito, E. (2002). *Microbial conversion of lignocellulosic residues for production of animal feeds*. Animal Feed Science and Technology, 98: 1–12.

Mimihu. (2010). *Autoclave*. En: http://es.mimi.hu/medicina/autoclave.html. Consulta: septiembre 3 de 2010.

Moreno, N y Ospina, X. (2008). *Evaluación de inductores metálicos y co-sustratos para la remoción de negro reactivo 5 empleando Pleurotus ostreatus inmovilizado en fique*. Bogotá, Colombia: Tesis pregrado Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Director: Pedroza, A. 137 p.

National Center for Biotechnology Information. *Pleurotus ostreatus. Taxonomy browser.* En: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Undef&id=5322&lvl=3&lin=s&keep=1&srchmode=1&unlock. Consulta: agosto 20 de 2010.

Orthof, P.; Pedrozo, J. y Bruno, F. (2009). *Pleurotus ostreatoroseus*. En: http://cogubelo.com.br/home.htm. Consulta: agosto 16 2010.

Pandey, A.; Soccol, C.; Nigam, P. y Soccol, V. (2000). *Biotechnological potential of agro-industrial residues: I: sugarcane bagasse.* Bioresource Technology, 64: 69-80.

Panizo, M. M.; Reviákina, V.; Montes, W. y González, G. (2005). *Mantenimiento y preservación de hongos en agua destilada y aceite mineral.* Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología, 25 (1): 35–40.

Parra, S. L.; Pérez, M. M.; Bernal, M.; Suárez, Z. y Montoya, D. (2006). *Implementación y evaluación de dos métodos de conservación y generación de la base de datos del banco de cepas y genes del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia.* Publicación Científica en Ciencias Biomédicas-NOVA-, 4 (5): 39-49.

Pelacho, A. M.; Closas, L.; Cuerva, R. M.; Sanfeliu, J.; Badía, J. y Alins, G. *La cámara de flujo laminar. Libro electrónico del cultivo in vitro.* En: http://www.etsea2.udl.es/invitro/camflux.htm. Consulta: agosto 31 de 2010.

Peláez, A.; Meneses, M.; Miranda L. A.; Megias, M. D.; Barcena, R. y Loera, O. (2008). *Ventajas de la fermentación sólida con Pleurotus sapidus en ensilaje de caña de azúcar.* Archivos de Zootecnia, 57 (217): 25-33.

Piqueras, J. (2004). *Los hongos como alimentos funcionales*. Associacio Micologica Font I Quer, 2 : 46-48. En: http://joseppiqueras.iespana.es/Bibliografia/Setas%20como%20AF.pdf. Consulta: septiembre 9 de 2010.

Pointing, S. B. (1999). *Qualitative methods for the determination of lignocellulolytic enzyme production by tropical fungi*. Fungal Diversity, 2: 17-33

Ponce, I.; Escalona, L. y Estrada, A. (2001). *Inoculación de una mezcla de residuales azucareros con una cepa de Pleurotus ostreatus.* Universidad y Ciencia 17 (33): 33-40.

Ragunathana, R. y Swaminathanb, K. (2003). *Nutritional status of Pleurotus spp. grown on various agro-wastes.* Food Chemistry, 80: 371–375.

Raimbault, M. y Viniegra, G. (1988). *Valorización de los productos agrícolas tropicales por fermentación en estado sólido*. Informe sintético final. Universidad Autónoma Metropolitana de México e Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM). 62 p.

Rajarathnam, S.; Wankhede, D. B. y Bano, Z. (1987). *Degradation of rice straw by Pleurotus flabellatus.* Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 37: 203–214

Randel, P. F.; Ramírez, A.; Carrero, R. y Valencia, I. (1972). *Alkali-Treated and Raw Sugarcane Bagasse as Roughages in Complete Rations for Lactating Cows*. Journal of diary Science, 55 (10): 1492-1495.

Rashad, M.; Abdou, H. M.; Mahmoud A. E. y Nooman, M. U. (2009). *Nutritional Analysis and Enzyme Activities of Pleurotus ostreatus cultivated on Citrus limonium and Carica papaya wastes*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4): 3352-3360

Reinaldo, M. (2004). *Situación actual, oportunidades y desafíos -Mercado argentino del trigo*. Pergamino, Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria –INTA-. pp 65-70.

Rinker, D. L. (2004). *El substrato "gastado" de los hongos: cómo se está manipulando y utilizando en el mundo (primera parte).* En: http://setascultivadas.com/2004articulofebrero.html Consulta: agosto 16 de 2010.

Rodríguez, S.; Fernández M.; Bermúdez R. y Morris, H. (2003). *Tratamiento de efluentes industriales coloreados con Pleurotus spp.* Revista Iberoamericana de Micología, 20: 164-168.

Royse, D. J. (2003). *Cultivation of oyster mushroom.* Pennsylvania, Estados Unidos: Information and Communication Technologies in the College of Agricultural Sciences. En:

www.pubs.cas.psu.edu/freepubs/pdfs/UL207.pdf. Consulta: agosto 20 de 2010.

Santaella, M. (2005). *Manual de fundamentos de micología.* Bogotá, Colombia: Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana.

Serrano, J. (2009). *Bloques nutricionales*. En: http://jairoserrano.com/2009/01/bloques-multinutricionales/. Consulta: septiembre 24 de 2010

Singh, D. (1989). *Production of protein-rich mycelial biomass of a mushroom, Pleurotus sajor-caju, on corn stover*. Journal of Fermentation and Bioengineering, 68 (5): 334-338.

Sinkala, T.; Mwase, E. T. y Mwala, M. (2002). *Control of aquatic weeds through pollutant reduction and weed utilization: a weed management approach in the lower Kafue River of Zambia.* Physics and Chemistry of the Earth, 27: 983–991.

Tibaquicha, D. L. (2009). *Estandarización del protocolo de producción del sustrato enriquecido a base de bagazo de caña panelera con el micelio de Pleurotus ostreatus para su inclusión en sistemas de alimentación animal.* Bogotá, Colombia: Tesis pregrado Biología. Universidad INCCA de Colombia. Director: Albarracín, L. C. 95 p.

niversidad Autónoma de Baja California. (2005). *Instrucciones del trabajo del manejo del ceparío.* En: http://medicina.tij.uabc.mx/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=154&Itemid=55. Consulta: agosto 31 de 2010.

Vega, A.; Caballero, R.; García, J. y Mori, N. (2005). *Bioconversion of agroindustrial residues by Pleurotus ostreatus cultivation*. Revista Mexicana de Micología, 20: 33-38.

# 6. ANEXOS

## 1.1. Composición medios de cultivo

| Medio de Cultivo | Unidad | Componente | Cantidad |
|---|---|---|---|
| Agar Extracto de Malta (AEM) | g/L | Extracto de malta | 30 |
| | | Peptona de soya | 3 |
| | | Agar | 15 |
| Agar Papa Dextrosa (PDA) | g/L | Glucosa | 20 |
| | | Infusión de papa | 4 |
| | | Agar | 15 |

## 1.2. Análisis de varianza del ensayo realizado en Cajibío para evaluar ganancia de peso en bovinos en estabulación

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entre grupos | 0,011 | 2 | 0,0053 | 0,363 | 0,7099 | 5.143 |
| Dentro de los grupos | 0,089 | 6 | 0,0148 | | | |
| Total | 0,099 | 8 | | | | |

$P < 0,05$

## 1.3. Análisis de varianza del ensayo realizado en Quipile para evaluar ganancia de peso en bovinos en estabulación.

| Origen de las variaciones | Suma de cuadra-dos | Grados de libertad | Promedio de cuadrados | F | Proba-bilidad | Valor crítico para F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Entre grupos | 0,209 | 2 | 0,1044 | 7,29 | 0,0248 | 5,14 |
| Dentro de los grupos | 0,085 | 6 | 0,0143 | | | |
| Total | 0,294 | 8 | | | | |

$P < 0,05$

Terminó de imprimirse en
enero de 2011 en
produmedios
Producción de Medios de Comunicación
www.produmedios.org
Teléfono: 422 7356 - Bogotá D.C