

**DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA
PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE CHAMPIÑÓN
(*AGARICUS BISPURUS*).**



ING. ALEJANDRA MARCELA CAMELO MARTÍNEZ

**Monografía para optar al título de
ESPECIALISTA EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**Director
ING. RICHARD DIAZ GUERRERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2008**

**DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA
PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE CHAMPIÑÓN
(*AGARICUS BISPURUS*).**



ING. ALEJANDRA MARCELA CAMELO MARTÍNEZ

**Monografía para optar al título de
ESPECIALISTA EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2008**

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

Doy gracias a la vida por permitirme alcanzar una meta más, a mi hija por haber llegado a mostrarme lo importante de la vida, por enseñarme a ser niña de nuevo, por su sonrisa y su alegría para que DIOS permita que la acompañen siempre, a mi esposo por amarme y ayudarme a cumplir un sueño más.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	12
1. OBJETVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2. INTRODUCCIÓN	17
3. REVISIÓN DE LITERATURA	19
3.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS.	19
3.2 TIPOS DE RESIDUOS	20
3.3 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	21
3.3.1 RESIDUOS PELIGROSOS	21
3.3.2 RESIDUOS NO PELIGROSOS	22
3.4 RESIDUOS SÓLIDOS	22
3.4.1 RESIDUO SÓLIDO APROVECHABLE	22
3.4.2 RESIDUO SÓLIDO NO APROVECHABLE	23
3.5 PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.	23
3.5.1 PROPIEDADES FÍSICAS	23
3.5.2 PROPIEDADES QUÍMICAS	25
3.5.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS.	26
3.6 LEGISLACIÓN COLOMBIANA DE RESIDUOS SÓLIDOS	28
3.7 COMPOSTAJE.	29
3.7.1 PROPIEDADES DEL COMPOSTAJE	30
3.7.2 PROCESO DEL COMPOSTAJE	31
3.8 CHAMPIÑONAZA O SUSTRATO GASTADO DE CHAMPIÑONES.	32
4. METODOLOGIA.	33
4.1 SELECCIÓN DEL SITIO DE TRABAJO	33

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO E IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS.	35
4.3 PRODUCCIÓN DEL COMPOSTAJE	37
4.3.1 COMPONENTES PARA LA ELABORACIÓN DEL COMPOST.	37
4.4 SIEMBRA Y CRECIMIENTO VEGETATIVO.	43
4.4.1 SIEMBRA	43
4.4.2 COBERTURA.	44
4.4.3 RASGADO.	46
4.4.4 CHOQUE TÉRMICO	46
4.5 FRUCTIFICACIÓN Y COSECHA	46
4.6 IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS ESTAPAS PRODUCTIVAS DEL CULTIVO.	47
4.6.1 RESIDUOS SÓLIDOS (RS) DEL PATIO DE COMPOSTAJE	47
4.6.2 RS DEL TÚNEL DE PASTEURIZACIÓN	48
4.6.3 RS DE SIEMBRA	48
4.6.4 RS DE COBERTURA	48
4.6.5 RS DE COSECHA	48
4.6.6 RS DE RENOVACIÓN DE CUARTOS DE CULTIVO	49
4.7 SITUACIÓN ACTUAL DE MANEJO DE RS GENERADOS EN LA PLANTA DE ESTUDIO.	50
4.7.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (RS) GENERADOS EN LA PLANTA.	51
4.8 CLASIFICACIÓN DE LOS RS DE LA PLANTA SETAS DEL CARRIZAL	53
<u>5. MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS</u>	<u>55</u>
5.1 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	57
5.2 RECICLAJE	58
5.2.1 RECICLAJE DE PLÁSTICO	59
5.2.2 RECICLAJE DE PAPEL	60
5.3 REUSO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL CULTIVO DE CHAMPIÑÓN.	61
5.3.1 SUSTRATO GASTADO DEL CHAMPIÑÓN O CHAMPIÑONAZA	61
5.3.2 USOS DEL TALLO DE CHAMPIÑÓN.	74
<u>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	<u>76</u>
<u>7. BIBLIOGRAFIA.</u>	<u>79</u>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fórmula de compostaje tomado de SETAS DEL CARRIZAL LTDA.....	38
Tabla 2. Características optimas del Compostaje al finalizar la etapa del patio de compostaje. ..	40
Tabla 3. Intervalos eficientes de las variables después del proceso de pasterurización.	42
Tabla 4. Cantidad anual de Residuos sólidos generados por Setas del Carrizal LTDA.	50
Tabla 5. Clasificación de los residuos sólidos generados en SETAS DEL CARRIZAL LTDA.	54
Tabla 6. Porcentajes totales de Residuos sólidos generados anualmente.	56
Tabla 7. Porcentajes totales de Residuos sólidos generados anualmente.	56
Tabla 8. Componentes nutricionales del sustrato de champiñón tomado de Laboratorio de Investigación de setas Penn State Department of Plant Pathology.	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Usos del sustrato gastado del champiñón.....	63
Ilustración 2. Sistema de disposición final del sustrato gastado del champiñón.	74
Ilustración 3. Disposición final de los residuos del champiñón generados en la cosecha.	75

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Patio de Compostaje y Formación de pilas.	38
Fotografía 2. Túnel de pasteurización	42
Fotografía 3. Colonización de la semilla en el compost.	44
Fotografía 4. Fructificación y Cosecha	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de compostaje.....	30
Figura 2. Ubicación geográfica del Municipio de Granada.	34
Figura 3. Distribución de áreas de la planta de producción de champiñones.	35
Figura 4. Representación esquemática del proceso de Producción de champiñón.	36
Figura 5. Representación esquemática del proceso productivo y residuos generados.	49
Figura 6. Manufactura, uso, reuso y reciclaje del plástico (tomado de Guía de buenas prácticas para el reciclaje de plástico por ACRR).	60

GLOSARIO

Compostaje: es el proceso de oxidación biológica donde interactúan los microorganismos con la materia orgánica.

Disposición Final: Es el proceso de aislar y confinar los residuos o desechos peligrosos, en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

Generador: Cualquier persona cuya actividad produzca residuos o desechos peligrosos. Si la persona es desconocida será la persona que está en posesión de estos residuos.

Gestión integral de residuos: Es el conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.

Receptor: El titular autorizado para realizar las actividades de almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización (incluida la recuperación, el reciclado o la regeneración), el tratamiento y/o la disposición final de residuos o desechos peligrosos.

Reducir: Evitar o minimizar la producción de residuos, usando racional y eficientemente los recursos e insumos en nuestras actividades.

Reciclar: Es recuperar aquellos residuos que mediante su reincorporación como materia prima o insumos sirven para la fabricación de nuevos productos.

Residuo o desecho: Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó ó porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula.

Reutilizar: Es devolver a los residuos su potencial de utilización en su función original o en alguna relacionada, sin requerir procesos adicionales de transformación.

Sustrato gastado de champiñón (champiñonaza): El compost usado para la producción del champiñón, luego de un tiempo disminuye sus nutrientes lo que hace que la producción disminuya por esta razón el compost es renovado por uno nuevo, este compost se denomina sustrato gastado del cultivo de champiñón.

Tratamiento: Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización ó para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente.

TITULO: DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN UNA PLANTA PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE CHAMPIÑÓN (AGARICUS BISPURUS). *

Autor: CAMELO MARTINEZ, Alejandra **

Palabras clave: residuos sólidos, compostaje, sustrato gastado de champiñón, planta productora de champiñón, generación de residuos.

El Sustrato gastado de champiñón junto con las bolsas corresponden a los residuos sólidos (RS) más importantes que son generados en el proceso productivo de champiñón, por lo tanto, el objetivo de este trabajo es conocer el proceso para la producción de champiñón e identificar las etapas donde se generan RS.

Para la realización de este proyecto se dispone de la Planta de setas del Carrizal Ltda., Cuya actividad comercial es la producción y comercialización de champiñón. Esta planta está ubicada en la vereda el Carrizal, municipio de Granada (Cundinamarca). En la primera parte del trabajo se obtuvo información de las etapas que deben llevarse a cabo para la producción de setas, los RS se generan y la gestión que se le está dando en la actualidad a los RS que son obtenidos en la actividad.

Finalmente, los RS fueron clasificados de acuerdo a su aprovechabilidad, además se determinaron los valores por ciclo de producción y cantidades anuales de RS, con el fin de plantear alternativas para el manejo y disposición, como la minimización, el reciclado y la reutilización. Se puede concluir que el sustrato gastado de champiñón cuenta con características nutricionales y materia orgánica que lo hacen muy apetecido para ser utilizado con éxito en diferentes áreas del sector agropecuario como la agricultura, la horticultura, alimentación pecuaria, para el control de plagas y enfermedades en producción agrícola y como agente biorremediador de suelos y agua.

* Trabajo de grado

** Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ing. Richard Díaz Guerrero.

TITLE: FINAL DISPOSAL OF SOLID WASTE GENERATED AT A PLANT PRODUCING AND MARKETING MUSHROOMS (AGARICUS BISPURUS). *

Author: CAMELO MARTINEZ, Alejandra **

Key words: Solid remainders, Compost, Spent Mushroom Substrates (SMS), producing Plant of Mushroom, generation of remainders.

The Spent Mushroom Substrates (SMS) along with the plastic bags, correspond to the solid residue (SR) more significant generated in the productive process of Mushroom, therefore the objective of this one work is to know the productive process for the production of Mushroom and to identify in as or as stages are generated SR.

To the accomplishment of this project one has Plant Setas of Carrizal Ltda., whose commercial activity is the production and commercialization of Mushroom. This plant is located on the sidewalk the Carrizal, municipality of Granada (Cundinamarca). In the initial part of the work was obtained information from the stages that must be carried out for the production of mushroom, the RS being generated and management that is currently in the RS who are earned in the activity.

Finally the RS were classified according to their use, in addition values were determined by production cycle and quantities of RS, in order to raise alternatives for the handling and disposal, as minimization, recycling and reuse. It is possible to be conclude that the substrate has spent mushroom organic matter and nutritional characteristics that make it desired to be used with success in different areas of the agricultural sector such as agriculture, horticulture, livestock feed, to control pests and diseases agricultural production and as an agent bioremediation of soils and water.

* Thesis

** Chemical Enginner School. Enviromental Enginner Especialist. Director: Ing. Richard Díaz Guerrero.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un plan de manejo integral de residuos sólidos generados en una planta productora de champiñón.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ▲ Revisión de la literatura existente sobre el manejo integral de los residuos sólidos.

- ▲ Identificar las etapas del proceso productivo de una planta productora de champiñón donde se generan residuos sólidos.

- ▲ Clasificar los residuos sólidos procedentes del cultivo de champiñón por sus propiedades y determinar si son aprovechables, reutilizables o reciclables.

- ▲ Identificar formas de aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el cultivo de champiñón.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad son muchas las especies de hongos que son cultivados en el mundo. La producción mundial llegó a unas 6.2 millones de toneladas en 1997, con un incremento anual sostenido del 12% entre 1981 y 1997 (Chang, 1999). El 70% de la producción mundial de hongos la abarcan tres grupos de hongos: *Agaricus bisporus*, las especies de *Pleurotus* y *Lentinula edodes*. El resto abarca al menos una docena de otras especies (Chang, 1999). En la producción de los hongos comestibles quedan cantidades significativas de residuos después de que el cultivo ha terminado. Por cada tonelada de hongos producidos se generan una a dos toneladas de materiales residuales en peso seco (Rynker Lee, 2004), éste material residual dista mucho de ser un desecho, ya que en la actualidad se están obteniendo muchos beneficios mediante diferentes usos y se están valorando muchas posibilidades a escala internacional.

En Colombia cada vez son más los cultivos dedicados a la producción de setas u Hongos comestibles, éstas se producen en sustratos también conocidos como compost; una vez finalizado el ciclo productivo del sustrato éste debe ser renovado por uno nuevo que cuente con las propiedades óptimas para el buen desarrollo del micelio, y el sustrato anterior se convierte junto con el empaque que lo sostiene en un residuo, que puede

llegar a hacer de gran volumen. El enfoque dado a este proyecto corresponde a buscar alternativas para la reutilización de este sustrato en otros usos.

La champiñonaza o residuo del cultivo de champiñón puede llegar a colmatar el interior de las instalaciones ya que no se cuenta con un manejo integral de este residuo, algunas fincas productoras lo llevan a vertederos y en otras es quemado. El desarrollo de este trabajo es con el fin de dar soluciones al manejo de los residuos generados en estos cultivos.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

A continuación se presenta un breve resumen de la literatura encontrada sobre el tema que se desarrolla en éste proyecto.

3.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS.

La generación de residuos es una consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre; hace años un gran porcentaje de los residuos eran reutilizados en muy diversos usos, pero hoy en día nos encontramos en una sociedad de consumo que genera gran cantidad y variedad de residuos. Los residuos derivados de estas actividades económicas no son otra cosa que recursos naturales desaprovechados, Por ello es importante conocer las propiedades químicas, Físicas y contenido energético para determinar si son aprovechables, reutilizables, si se pueden transformar o reciclar. Los residuos generados afectan de una forma general a todas las actividades, personas y espacios, convirtiéndose en problema no sólo por lo que representa en términos de recursos abandonados sino por la creciente incapacidad para encontrar lugares que permitan su acomodo correcto desde un punto de vista ecológico. Esta incapacidad viene determinada por la excesiva cantidad de residuos generados y en algunos casos por la peligrosidad de algunos de ellos.

Un residuo es definido por el estado físico en que se encuentre, existen tres tipos de residuos: sólidos, líquidos y gaseosos, en general un residuo también puede ser caracterizado por sus características de composición y generación.

Para poder clasificar los residuos y definir si son aprovechables o no se debe distinguir el tipo de residuo, ya que los residuos municipales, industriales, hospitalarios, agropecuarios y mineros difieren entre si.

3.2 TIPOS DE RESIDUOS

- ▲ **Residuos Municipales:** La generación de los residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población.

- ▲ **Residuos Industriales:** Son originados por las actividades industriales y pueden ser muy variados ya que dependen del tipo de actividad que los genera. La cantidad de residuos que genera una industria va en función de la tecnología del proceso productivo, la calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de los materiales empleados, combustibles utilizados y los embalajes y envases del proceso. Los residuos industriales poseen en común la característica de ser potencialmente peligrosos.

- ▲ **Residuos Hospitalarios:** La composición de éstos residuos varia desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo medico conteniendo sustancias peligrosas.

Según el Integrated Waste Management Board de California USA se entiende por residuo médico como aquel que está compuesto por residuos que es generado como resultado de:

- a) Tratamiento, diagnóstico o inmunización de humanos o animales
- b) Investigación conducente a la producción o prueba de preparaciones médicas hechas de organismos vivos y sus productos.

▲ **Residuos Agropecuarios:** Son los rechazos que se obtienen de las actividades relacionadas con el sector Agrícola y pecuario.

▲ **Residuos Mineros:** Estos residuos incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros, Incluyen los procedentes de las etapas de prospección, extracción y almacenamiento de recursos minerales, pudiendo ser sólidos o líquidos.

Los residuos antes mencionados pueden ser clasificados como inertes, peligrosos o no peligrosos.

3.3 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

3.3.1 Residuos Peligrosos. Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar o disponer y pueden causar la muerte, enfermedad o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados de forma inapropiada. Los residuos peligrosos se generan al desechar productos de consumo que

contienen materiales peligrosos, al eliminar envases contaminados con ellos; al desperdiciar materiales peligrosos que se usan como insumos de procesos productivos (industriales, comerciales o de servicios) o al generar subproductos o desechos peligrosos no deseados en esos procesos.

3.3.2 Residuos No Peligrosos. Dentro este grupo se encuentran los residuos inertes que se definen como aquellos que por su naturaleza o composición no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. Los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente ni de ninguna otra manera, no son biodegradables Y no afectan negativamente a otras materias con las que entran en contacto de forma que pueden dar lugar a contaminación del medio o perjudicar a la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes.

3.4 RESIDUOS SÓLIDOS

Son cualquier objeto, material, o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, hospitalarias y agropecuarias que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación de un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

3.4.1 Residuo Sólido Aprovechable. Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante de una actividad, que el generador rechaza o abandona y que es susceptible de aprovechamiento o transformación de un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

3.4.2 Residuo Sólido No Aprovechable. Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso productivo.

3.5 PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.

Las Propiedades de los residuos sólidos deben tenerse en cuenta para desarrollar y diseñar sistemas de gestión integrada de residuos sólidos, además de transformaciones que puedan afectar la forma y composición de los residuos.

3.5.1 Propiedades Físicas.

▲ **Peso Específico:** corresponde a la relación del peso en función del volumen que ocupan, se expresa (M/V), la densidad de los residuos depende de su grado de compactación, es decir del lugar donde se realice el análisis, ya sea en la bolsa de basura, el contenedor, en el recolector de basura, etc., Por lo que es de vital importancia conocer el lugar de extracción de la muestra, el conocimiento del peso específico para conocer la masa y el volumen de los residuos y poder aplicar estos datos a la gestión de los mismos y su determinación es fundamental para el dimensionamiento de equipos e instalaciones.

- ^ **Contenido de Humedad:** la humedad de una muestra se expresa como el porcentaje del material húmedo. La humedad de los residuos sólidos depende de varios factores como la composición de los residuos, las condiciones climáticas y las condiciones ambientales de humedad.

- ^ **Compresibilidad:** se conoce como el grado de compactación e indica la reducción en volumen que puede sufrir una determinada masa de residuos cuando es sometida a una presión determinada, se expresa en porcentaje (%).

- ^ **Tamaño de Partícula:** Corresponde al tamaño y la distribución de los componentes de los materiales en los residuos sólidos, el tamaño de la partícula es una consideración importante dentro de los procesos mecánicos y físicos de recuperación de materiales y es el peso porcentual de cada componente en relación con el peso total de los residuos manejados, se expresa en porcentaje (%).

- ^ **Capacidad de Campo:** corresponde a la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. Es de gran importancia para determinar la formación de la lixiviación en los vertederos. El exceso de agua sobre la capacidad de campo se emitirá en forma de lixiviación. La capacidad de campo varía con el grado de presión aplicada y el estado de descomposición del residuo.

- ▲ **Permeabilidad:** la conductividad hidrológica de los residuos compactados es una propiedad física importante que, en gran parte, gobierna el movimiento de líquidos y gases dentro de un vertedero.

- ▲ **Producción per cápita:** Relaciona la cantidad de residuos generados diariamente por una habitante de una región determinada. Se expresa en kg/hab.-día.

3.5.2 Propiedades Químicas.

Las propiedades químicas de los residuos sólidos son importantes, ya que se puede conocer la capacidad de estos residuos para ser procesados y/o recuperados, ya sea para estudiar la viabilidad de la incineración, las posibilidades de compostaje o el depósito en vertederos.

- ▲ ***Poder Calorífico:*** Indica la capacidad potencial de calor que puede desprender un material cuando es quemado. Determinación del posible método de eliminación; Parámetro básico para un tratamiento de incineración y para establecer un balance energético en un proceso de pirolisis. (Kcal/Kg).

- ▲ **Potencial de Hidrogeno:** Indica el grado de acidez o alcalinidad de los residuos (pH).

- ▲ **Composición Química:** Es importante conocer los porcentajes de cenizas, materia orgánica, carbono, nitrógeno, humedad, potasio, la relación carbono/nitrógeno (C/N), calcio y fósforo entre otros para definir tipos de tratamientos aplicables a los residuos.

3.5.3 Propiedades Biológicas.

Es importante conocer la población microbiana y los agentes patógenos presentes en los residuos sólidos. Excluyendo el plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos sólidos se puede clasificar de la siguiente forma:

- ▲ Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- ▲ Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco o seis carbonos.
- ▲ Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- ▲ Grasa, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- ▲ Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- ▲ Proteínas, están formadas por cadenas de aminoácidos.

No, obstante, la característica biológica más importante de la fracción orgánica de los residuos sólidos es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inertes. La

producción de olores y la generación de moscas están relacionadas también con la naturaleza putrescible de los materiales orgánicos encontrados en los residuos, como residuos de comida.

- ▲ **Producción de olores:** Los olores se desarrollan cuando los RS se almacenan durante un periodo de tiempo in situ antes de su recogida en estaciones de transferencia y en vertederos, siendo mas importante el desarrollo del olor en climas cálidos. La formación de olores se produce por la descomposición anaerobia de los compuestos fácilmente putrescibles contenidos en las basuras.

- ▲ **Producción de moscas:** las moscas pueden desarrollarse en menos de dos semanas después de poner huevos. Si los gusanos o larvas se desarrollan en el interior de los contenedores son difíciles de eliminar y pueden permanecer y desarrollarse hasta convertirse en adulto, el cual puede invadir los alrededores de la zona donde se encuentra el residuo.

- ▲ **Biodegradabilidad de los componentes:** se entiende como la capacidad que tiene un compuesto para ser degradado en otros más sencillos mediante la actuación de microorganismos.

3.6 LEGISLACIÓN COLOMBIANA DE RESIDUOS SÓLIDOS

DECRETO	AÑO	CONTENIDO
Decreto ley 2811	1974	Esta relacionado con la gestión integral de los residuos sólidos.
Decreto 2104	1983	Contiene normas aplicables al almacenamiento, presentación, recolección, transporte, transferencia, transformación y disposición sanitaria de los residuos sólidos.
Decreto 1594	1984	Regula todo lo relacionado con el manejo, uso y disposición sanitaria de los residuos sólidos con características especiales.
Decreto ley 99	1993	Esta relacionado con la gestión integral de los residuos sólidos.
Resolución 189	1994	Por la cual se dictan regulaciones para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos, a su vez se detallan sus características.
Ley 430	1998	Regula todo lo relacionado con la prohibición de introducir desechos peligrosos al territorio nacional.
Decreto 2676	2000	Tiene por objeto reglamentar ambiental y sanitariamente, la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, generados por personas naturales o jurídicas.
Decreto 2763	2001	Prorrogar por ocho meses, contados a partir de la expedición del manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares.
Decreto 1669	2002	Por el cual se modifica parcialmente el decreto 2676 de 2000.
Decreto 1164	2002	Mediante la cual se expide el último y definitivo manual guía para residuos hospitalarios y similares.

DECRETO	AÑO	CONTENIDO
Decreto 1713	2002	Por el cual reglamenta la ley 142 de 1994, la ley 632 del 2000 y la ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio publico de aseo.
Decreto 1140	2003	Por el cual se modifica parcialmente el decreto 1713 del 2002, en relación con el tema de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones.

3.7 COMPOSTAJE.

La palabra compost vienen del latín (juntar) y es el proceso de oxidación biológica donde interactúan los microorganismos con la materia orgánica, también se conoce como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, esta descomposición ocurre bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación realizada por microorganismos que liberan energía por actividad metabólica y en ausencia de suelo. El compost es un nutriente para el suelo ya que mejora su estructura ayudando a reducir la erosión y ayuda a la absorción de agua y nutrientes.

En la Figura 1, se puede observar el proceso de compostaje, en este proceso se mezclan diferentes insumos como materia orgánica, agua, nutrientes y otros, que durante el proceso libean agua, calor y dióxido de carbono, teniendo como resultado un abono (compost) rico en nutrientes.

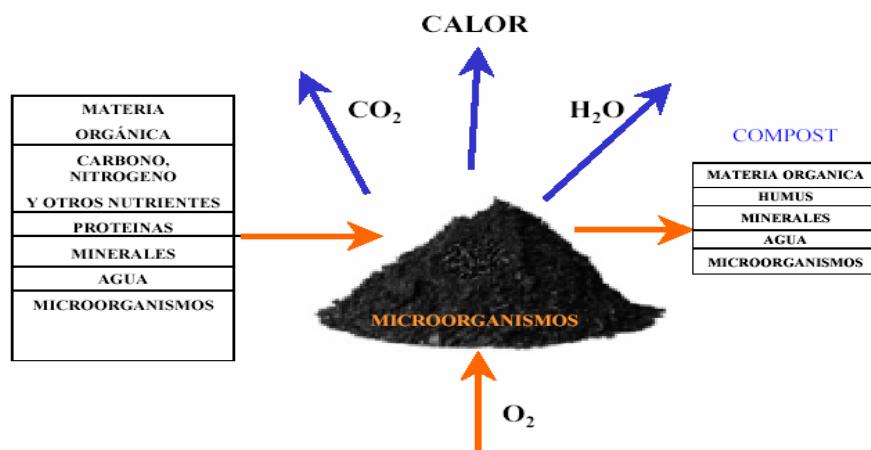


Figura 1. Proceso de compostaje.

3.7.1 Propiedades del Compostaje

El compostaje mejora las propiedades Físicas, Químicas y Biológicas del suelo debido a que la materia orgánica da estabilidad a la estructura de los agregados de los suelos agrícolas reduciendo la densidad aparente, aumentando la porosidad y permeabilidad dando al suelo mayor capacidad de retención de agua, además aumenta el contenido de macro nutrientes en el suelo (N, P, K) y micro nutrientes y es fuente de almacenamiento de nutrientes para los cultivos actuando como soporte de alimento de los microorganismos. El compostaje a parte las propiedades que aporta al suelo tienen ventajas y desventajas, como:

VENTAJAS.

1. Es un sistema de reciclaje, con una útil revalorización del residuo.
2. Reducción de volúmenes de residuos.

3. Producto comercializable.
4. Disminuye la contaminación del medio ambiente ya que reduce los metales pesados presentes en los residuos.
5. Disminuye la demanda de los suelos en nutrientes, ya que el compost es un revitalizador de ellos.

DESVENTAJAS

1. Altos costos de iniciación del proyecto.
2. Disponibilidad del terreno.
3. Producción de lixiviados y malos olores.

3.7.2 Proceso del Compostaje

El Proceso del compostaje puede dividirse en cuatro fases o etapas que van ligadas en función de la temperatura, cuando la temperatura de la masa vegetal es la misma del medio ambiente los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente en consecuencia de esto la temperatura se eleva produciendo así ácidos orgánicos que disminuyen el pH, a esta fase se le conoce como mesolítico; cuando la masa vegetal alcanza una temperatura de 40°C los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH se hace alcalino. Cuando la temperatura sube a 60°C los hongos termófilos desaparecen dando le paso a las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas a esta fase se le conoce como termofilico. Cuando la temperatura desciende de los 60°C reaparecen los hongos termófilicos quienes

descomponen la celulosa, la temperatura desciende hasta llegar a los 40°C donde los hongos mesófilos también reinician su actividad y el pH desciende ligeramente esta fase es conocida como de enfriamiento. Por ultimo existe un periodo que es el de maduración que puede tardar meses a temperatura ambiente donde ocurren reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

3.8 CHAMPIÑONAZA O SUSTRATO GASTADO DE CHAMPIÑONES.

El compost usado para la producción del champiñón, luego de un tiempo disminuye sus nutrientes lo que hace que la producción disminuya por esta razón el compost es renovado por uno nuevo, este compost se denomina sustrato gastado del cultivo de champiñón.

Los principales componentes de la champiñonaza son tamo de arroz, yeso, gallinaza, urea, entre otros, el sustrato de champiñón es un recurso orgánico muy rico en nutrientes, sin embargo el alto contenido de sal y la inestabilidad de los componentes orgánicos limitan su reutilización inmediata.

El sustrato de champiñón se ha convertido en un gran problema para diferentes agricultores en todo el mundo como Pensilvania, España, Estados Unidos, Colombia y otros países en donde se produce champiñón, por esta razón se han realizando diferentes estudios para la reutilización de este sustrato.

4. METODOLOGIA.

4.1 SELECCIÓN DEL SITIO DE TRABAJO

Para el desarrollo de este trabajo se escogió como plata piloto a SETAS DEL CARRIZAL LTDA, que corresponde a una empresa dedicada a la producción y comercialización de champiñón.

SETAS DEL CARRIZAL LTDA se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, en el municipio de Granada, vereda El Carrizal a tan solo 20 minutos de Soacha Cundinamarca en la vía que conduce a la ciudad de Fusagasugá. En la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica del municipio de Granada respecto a la división política del departamento de Cundinamarca.

El municipio de Granada se encuentra a 18 kilómetros de la Ciudad de Bogotá, y está a 1890 msnm, con una temperatura de 14°C, la actividad económica del municipio está basada en la producción agropecuaria (cultivos de papa, uchuva, arveja, fresa y flores), mientras que en la actividad pecuaria se encuentra ganado lechero y porcicultura.



Figura 2. Ubicación geográfica del Municipio de Granada.

Setas del Carrizal, corresponde a una planta piloto que presenta la siguiente distribución de áreas de producción y bajo las cuales se centrarán los análisis posteriores:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1. Patio de compostaje: | 270m ² . |
| 2. Túnel de pasteurización. | 15m ² . |
| 3. Cuarto de Siembra | 70m ² . |
| 4. Cuartos de cultivo | 40m ² cada cuarto. |

La finca cuenta con seis cuartos de cultivo pero esta proyectada para 12 cuartos.

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| 5. Zona de almacenamiento. | 50 m ² . |
|----------------------------|---------------------|

En la Figura 3, se presenta el esquema de la distribución de la planta geométrica de la Planta de producción. Desde el punto de vista de los residuos sólidos es importante tener en cuenta que la zona de cuartos de cultivo (operación de champiñones), desde donde se obtienen los residuos de la producción.

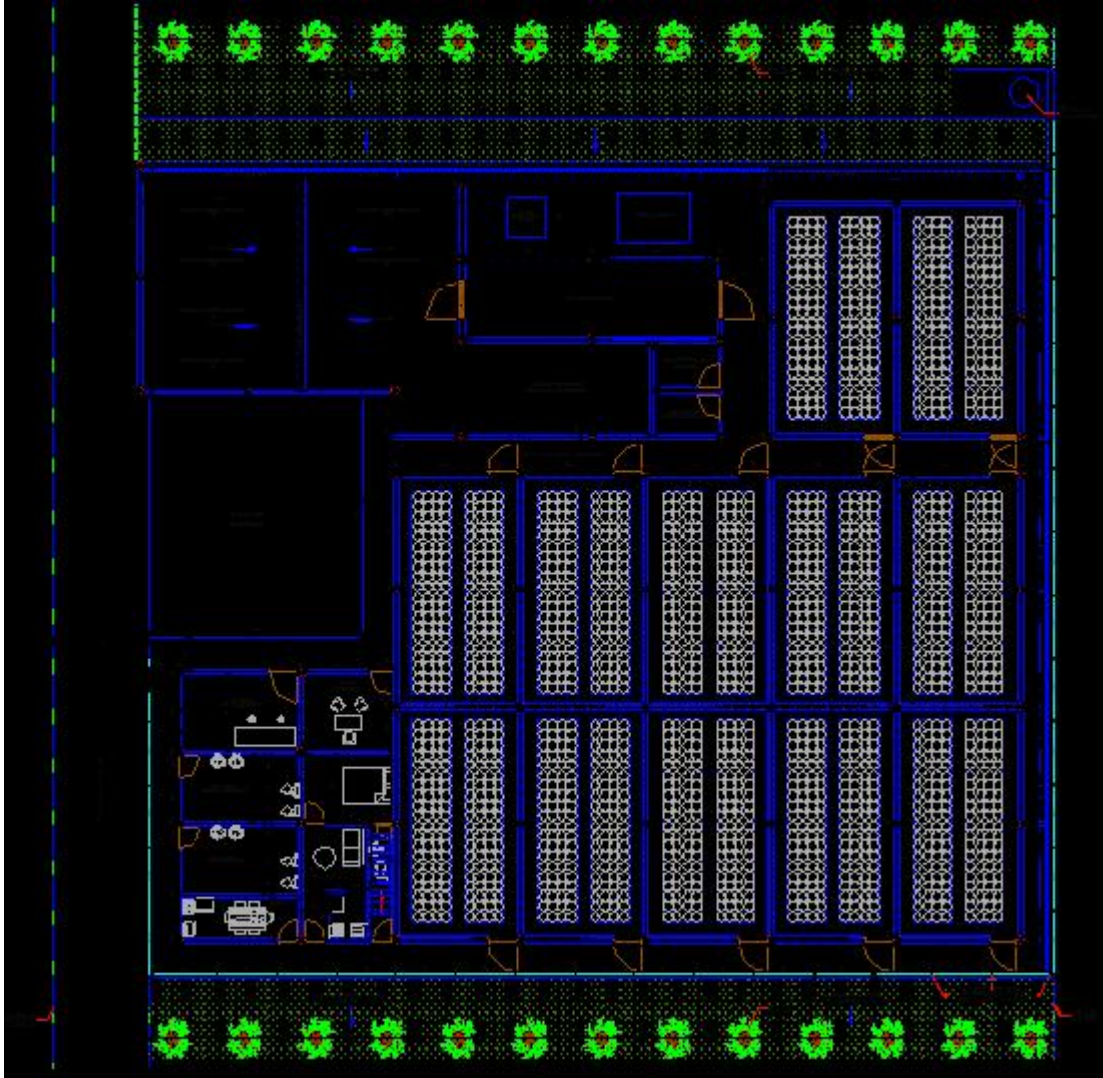


Figura 3. Distribución de áreas de la planta de producción de champiñones.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO E IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS.

Los procesos de producción de champiñón se dividen básicamente en las etapas mostradas en la Figura 4, la cual describe fundamentalmente cuatro (4) etapas, de las

cuales, se requiere para la renovación de los cuartos en función del rendimiento de la producción, el reemplazo de bolsas de producción, razón por lo que se generan residuos sólidos conocidos como champiñonaza.

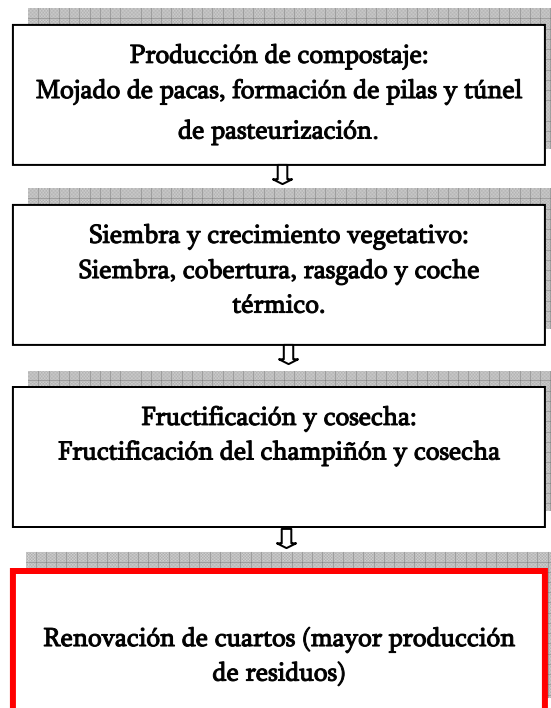


Figura 4. Representación esquemática del proceso de Producción de champiñón.

El área de mayor interés desde el punto de vista ambiental corresponde a la cosecha y renovación de cuartos ya que es allí donde se generan la mayor cantidad de residuos sólidos. En las otras fases del proceso productivo los residuos sólidos son de menor cantidad y fáciles de reutilizar o reciclar dentro del proceso productivo.

4.3 PRODUCCIÓN DEL COMPOSTAJE

El objetivo principal de la elaboración del compostaje es producir el medio propicio para el crecimiento óptimo del micelio o semilla de champiñón, este compost debe cumplir con las características químicas y físicas adecuadas para este fin (relación C/N, pH, %H, textura etc.).

Durante el proceso de la elaboración del compost se libera calor debido a los carbohidratos que sufren un proceso de descomposición rápido. Durante este proceso de fermentación el compost se oscurece debido a un proceso de humificación. El resultado final es un compost que no es atacado por otros microorganismos y que es adecuado para el crecimiento del champiñón.

4.3.1 Componentes para la elaboración del compost.

En la literatura se pueden encontrar diversos componentes para la elaboración de un compost adecuado para el hongo del champiñón, algunos han sido descartados por malos resultados en los cultivos o por facilidad en la consecución de los mismos, algunos de los más utilizados en Europa son la equinaza o estiércol de caballo, en Latinoamérica especialmente Colombia, es muy usado el bagazo de caña, tamo de arroz y la gallinaza o estiércol de gallina además de otros componentes como la urea y el yeso agrícola entre otros. El resto del volumen del compost lo forma el agua que se agrega a la fórmula en la elaboración del mismo.

En la Tabla 1, se muestra la fórmula usada actualmente por SETAS DEL CARRIZAL (en adelante Planta) para la producción de 800 – 850 bolsas de 9 kg/cu.

Tabla 1. Fórmula de compostaje tomado de SETAS DEL CARRIZAL LTDA.

INSUMO	Cantidad (kg)	% Nitrógeno
Tamo de Arroz	3800	0.72
Urea	38	46
Gallinaza	660	2.8
Torta de palma	380	-
Torta de Soya	76	-
Yeso Agrícola	380	0

El compost debe alcanzar un porcentaje inicial de 1.6-1.8 de Nitrógeno (se obtiene mediante pruebas físico químicas de % de Nitrógeno y humedad). Al final, el porcentaje de Nitrógeno se incrementa a 2.0 % ya que éste es el porcentaje óptimo para el crecimiento del micelio con la mayor eficiencia en el proceso de producción.

En la Fotografía 1, puede observarse el patio de compostaje y la formación de las pilas.



Fotografía 1. Patio de Compostaje y Formación de pilas.

4.3.1.1 Esquema de la elaboración del compost.

1. **Mojado de pacas de tamo de arroz.** El tamo de arroz corresponde al Volumen principal del compost y viene presentada en pacas comprimidas directamente de las arroceras. Al llegar las pacas a la Planta son pesadas y llevadas a un tanque o piscina con un volumen aproximado de 300 m³ donde son mojadas por 35 horas que son distribuidas durante 4 días. El tamo debe alcanzar el porcentaje máximo de saturación para que pueda darse el inicio de mezcla con otros componentes.
2. **Formación de pilas.** Luego del mojado de pacas, el tamo es sacado de la piscina, en el primer volteo (mezcla con otros componentes) se le agrega la gallinaza y la urea. La cantidad de la gallinaza depende de la concentración de Nitrógeno (N) y el porcentaje de humedad del tamo. La cantidad de urea que se le aplica corresponde al 1% del peso en seco del tamo de arroz. El segundo volteo se realiza 4 días después y éste se realiza con el palmiste o torta de palma. La cantidad aplicada de palmiste corresponde al 10% del peso seco de tamo.

El tercer volteo de las pilas se hace a los 2 días de aplicado el palmiste, en este volteo se mezcla el 75% del total del yeso agrícola (la cantidad total de yeso que se aplica es el 10% del peso del tamo). El cuarto volteo se hace 2 días después de la aplicación del yeso agrícola, y adicionalmente se mezcla la torta de soya. La cantidad de soya que se aplica corresponde al 2% del peso del tamo. El quinto volteo, conocido como volteo de oxigenación, se realiza dos (2) días después. En este volteo se aplica el 25% de yeso agrícola restante para alcanzar el 100% de la

dosificación de este componente. El sexto y último volteo se efectúa al día siguiente del volteo de oxigenación.

Al final de la preparación del compost, éste debe reunir características indicadas como el color, pH, % Humedad, temperatura, % Nitrógeno, textura y olor. El compost debe alcanzar en el proceso un color café oscuro característico. En la Tabla 2 se muestra las condiciones óptimas que debe tener el compostaje al finalizar la etapa en el patio de compostaje.

Tabla 2. Intervalos eficientes de las variables después del proceso del patio de compostaje.

Variable	Intervalos Eficientes
Porcentaje de Humedad	75-80%
Olor	Amoniaco
pH	8.2-8.5
Temperatura	65-75 °C.
Nitrógeno	1.7

- 3. Túnel de pasteurización.** El túnel de pasteurización es un cuarto de 15.00 m² completamente hermético, esto con el fin de garantizar las condiciones de temperatura indicadas que el compost requiere para la obtención de las condiciones ideales para siembra de las semillas. A este proceso también se le conoce como fermentación controlada. Las estibas de compost que se encuentran en el patio de compostaje son ingresadas al túnel en su totalidad formando cinco (5) estibas. Las puertas son cerradas y se procede a prender la turbina alrededor de 15 horas para la recirculación del aire y con base en ésta crear una atmósfera controlada y eficiente al compost. Al finalizar la recirculación de aire se

enciende la caldera para la inyección de vapor de agua por 9 horas continuas. Durante este tiempo la temperatura que debe alcanzar el vapor de agua inyectado corresponde a 60°C. Luego de la inyección de vapor es necesario encender la turbina, ésta debe permanecer encendida durante un lapso de una semana con el fin de acondicionar el compost, el cual debe disminuir progresivamente la temperatura hasta el inicio del proceso de siembra. Las temperaturas durante este proceso son controladas por medio de termocuplas las cuales se encuentran dispuestas de la siguiente manera:

- A la salida del vapor.
- En la parte baja de la pila de compost
- En el centro de la pila
- En la parte superior de la pila
- En la parte libre entre la pila y el techo.

Después de las nueve (9) horas de inyección de vapor de agua, las 5 termocuplas deben registrar la misma temperatura, para asegurar que el vapor ha pasteurizado la pila de manera uniforme. Es muy importante que la temperatura del compost para la siembra sea de 24 a 25°C para asegurar las condiciones óptimas para la germinación del champiñón, cuidando que dicha temperatura no supere los 28°C ya que esta no permitiría la germinación del micelio.

El proceso de pasteurización se realiza con el fin de eliminar organismos nocivos (patógenos, nematodos, mosca, ácaros y mosquitos). En la fase de

acondicionamiento el compost levanta los nutrientes dejándolo en condiciones óptimas para el desarrollo del micelio.



Fotografía 2. Túnel de pasteurización

Al final del proceso de pasteurización el compost debe reunir las siguientes características que son de gran importancia para garantizar el buen desarrollo de la semilla (ver tabla 3).

Tabla 3. Intervalos eficientes de las variables después del proceso de pasteurización.

Variable	Intervalos Eficientes
Porcentaje de Humedad	67 a 69%
Olor	Libre de Amoniaco
pH	7.5
Temperatura	22 a 28 °C.
Nitrógeno	2.0

4.4 Siembra y crecimiento vegetativo.

Luego del proceso de la elaboración del compost y cuando él ha alcanzado las condiciones óptimas para garantizar el buen desarrollo y crecimiento del micelio o semilla del champiñón se procede a la siembra, proceso que se describe a continuación:

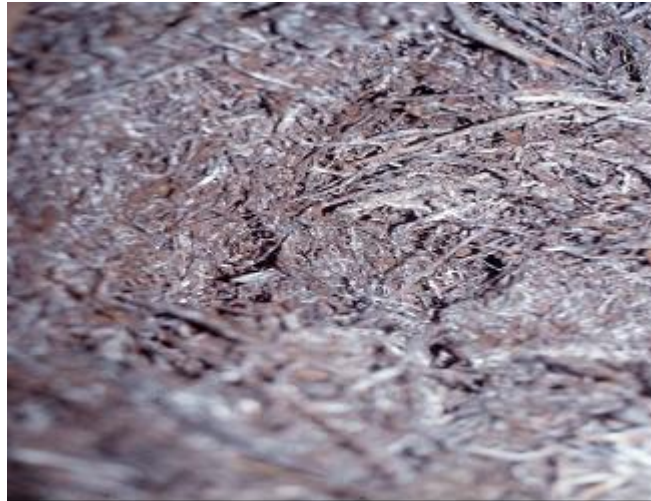
4.4.1 Siembra

La siembra debe hacerse en el menor tiempo posible para evitar que el compost se infecte y pierda su selectividad. Para la siembra se utilizan bolsas plásticas de baja densidad (calibre 2) de 50.0x70.0 cm. La cantidad de semilla utilizada es de 8.0 gr por bolsa sembrada. Las bolsas contienen de 8.5 a 10 kg de compost fresco.

La siembra se hace mezclando la semilla homogéneamente con el compost para garantizar que la semilla crezca lo más pronto posible. En el momento de la siembra también se realiza una primera compactación, para acelerar el desarrollo del micelio. Las bolsas sembradas son transportadas del cuarto de siembra a los cuartos de cultivo, donde son colocadas en estantes. Las bolsas deben permanecer cerradas para que conserven la humedad y calor.

Los cuartos de cultivo deben tener las condiciones óptimas para el buen desarrollo de la semilla, durante la primera fase de crecimiento, los cuartos no deben tener ventilación y deben mantener una temperatura de 25 a 28°C. Para controlar la temperatura se usan calentadores de acuerdo con las necesidades (déficit o exceso).

Transcurridos 14 días de efectuada la siembra, el micelio ha colonizado el compost. En la Fotografía 3 se puede observar el color blancuzco que empieza a tomar el compost luego que el micelio ha efectuado una efectiva colonización del compost cuya coloración se vuelve más amarilla y se pierde la coloración café. Cuando el micelio ha colonizado el compost se empiezan a denotar manchas blancas uniformes en toda el área sembrada. Posterior a la primera etapa de la fase vegetativa se realiza una segunda compactación, adecuando las bolsas para el momento de la cobertura.



Fotografía 3. Colonización de la semilla en el compost.

4.4.2 Cobertura.

El compost con micelio sin la tierra de cobertura produce pocos hongos, con una capa de tierra de 6.0 – 7.0 cm de espesor dentro de la bolsa de producción, el número de kilogramo de champiñón por área sembrada aumenta considerablemente, por esto, cuando el compost ha sido colonizado se coloca sobre su superficie una capa de tierra de

cobertura cuya principal función es mantener la humedad al micelio y los cuerpos de fructificación estimulando la formación de pines.

La tierra de cobertura debe tener una textura adecuada para que facilite el crecimiento del hongo, mantenga la humedad requerida y prevenir las altas concentraciones de CO₂, por esto la tierra negra por si sola no sirve, ya que no cuenta con la textura apropiada. Para la cobertura es necesario preparar la mezcla con lignina de coco, calcio y tierra negra. Para 3.4m³ de tierra de cobertura se emplean cinco (5) bultos de lignina de coco por 25 “paladas” de tierra y se agrega una (1) “palada” de carbonato de calcio. La lignina de coco debe remojarse por tres (3) días para que pierda los óxidos, al terminar este periodo se mezcla la lignina junto con el carbonato de calcio.

Al igual que el compostaje, la tierra de cobertura debe ser pasteurizada y desinfectada debido a que cualquier patógeno podría significar pérdidas de producción en el cultivo. Para esta desinfección se utiliza formol y además se hace una pasteurización adicional. Para el volumen de tierra utilizada se mezclan 4 litros de formol con 75 litros de agua. El día que se agregue el formol, la tierra de cobertura debe pasteurizarse agregando vapor de agua hasta que la tierra alcance 40 a 45°C. La tierra debe estar preparada un día antes de la cobertura.

La tierra de cobertura debe ser agregada 8 días después de haberse realizado la segunda compactación, para realizar esta compactación se utilizan anillos plásticos del mismo diámetro de la bolsa y con una altura o espesor indicado (5-7 cm). Después de agregar la tierra de cobertura las bolsas deben permanecer abiertas y en pocos días el micelio

empieza a invadir o colonizar la tierra y es el momento de empezar el riego de las bolsas con agua para mejorar las condiciones de humedad.

4.4.3 Rasgado.

El rasgado o rastrillo de la tierra se realiza con el fin de mejorar la estructura haciéndola más grumosa y permitiendo que el champiñón crezca homogéneamente en toda el área sembrada. Esta práctica mejora el rendimiento por bolsa además de mejorar el intercambio de CO₂.

4.4.4 Choque térmico

Después del rasgado y cuando se observa la aparición de los primeros pines en la superficie de las bolsas es necesario realizar un choque térmico que consiste en hacer descender la temperatura y empezar a ventilar los cuartos de cultivo para lograr el inicio de la germinación continua del micelio. La temperatura debe descender alrededor de los 17 a 18°C, considerada como la temperatura óptima para la fructificación. El fin de la ventilación es la recirculación de aire fresco dentro de los cuartos con el objetivo de mantener valores de CO₂ no significativos.

4.5 FRUCTIFICACIÓN Y COSECHA

Esta es la etapa del cultivo donde hay una transición del crecimiento vegetativo a la formación de los pines que en muy poco tiempo se convertirán en champiñones. Cuando aparecen los primeros champiñones con el tamaño adecuado se empieza la cosecha, ésta se realiza con ayuda de una cuchilla de corte. El champiñón se cosecha

dándole la vuelta y halándolo de tal forma que el tallo y la raíz se desprenda de la tierra de cobertura, sin embargo la raíz queda con restos del material de cobertura por lo cual es necesario retirar parte del tallo. En la Fotografía 4 se observa la fructificación del champiñón y el producto cosechado.

Durante esta fase es importante el riego, la ventilación y mantener valores adecuados de humedad relativa, ya que cualquier error (ausencia de control de variables por fuera de los intervalos previstos de producción) podría ocasionar pérdidas totales de producción.



Fotografía 4. Fructificación y Cosecha

4.6 IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS ESTAPAS PRODUCTIVAS DEL CULTIVO.

Luego de identificar y conocer cada una de las fases del proceso productivo, se identifican las etapas que generan residuos sólidos.

4.6.1 Residuos Sólidos (RS) del Patio de compostaje. En el proceso de la elaboración del compost se generan algunos residuos sólidos de fácil manejo. Para la elaboración de

compost se mezclan algunos insumos, entre estos el tamo de arroz, el cual está amarrado con cuerdas plásticas.

Para la producción de champiñón semanalmente se usa de 220 a 250 pacas, lo cual genera 400 a 500 cuerdas de 2.00 m de longitud aproximada que se convierten en residuo.

Otro residuo generado en el patio de compostaje corresponde a lonas o bultos de fibra plástica en el cual vienen embalados los insumos de producción.

Después del llenado del túnel de pasteurización en el patio de compostaje queda un sobrante de compostaje también considerado residuo.

4.6.2 RS del Túnel de pasteurización. En el proceso de pasteurización del compost no se generan residuos sólidos.

4.6.3 RS de Siembra. En la siembra se generan varios residuos, entre ellos, se tienen: bolsas plásticas de mala calidad, bolsas de papel del embalaje de las semillas y compost pasteurizado sobrante.

4.6.4 RS de Cobertura. En el proceso de cobertura no hay ningún residuo ya que si existe sobrante del material de cobertura este es mezclado o reutilizado en otro proceso.

4.6.5 RS de Cosecha. El residuo generado en esta etapa del proceso productivo se atribuye al tallo del champiñón, desde que se empieza a cosechar hasta el final del ciclo.

El champiñón es cosechado durante 4 semanas, posteriormente las bolsas pierden su capacidad productiva ya que el compost ha disminuido considerablemente los nutrientes necesarios para el crecimiento del hongo, por esta razón se hace necesario comenzar un nuevo ciclo que comienza con la renovación de los cuartos.

4.6.6 RS de Renovación de cuartos de cultivo. En la fase de renovación de los cuartos, las bolsas del ciclo anterior son evacuadas para dar espacio a nuevas bolsas de producción. Las bolsas que ya presentaron su ciclo de producción se convierten en material de desecho (chapiñonaza y bolsas de polietileno). La Figura 5, presenta la representación esquemática de los residuos sólidos generados en el proceso productivo que fue descrito en los párrafos anteriores.

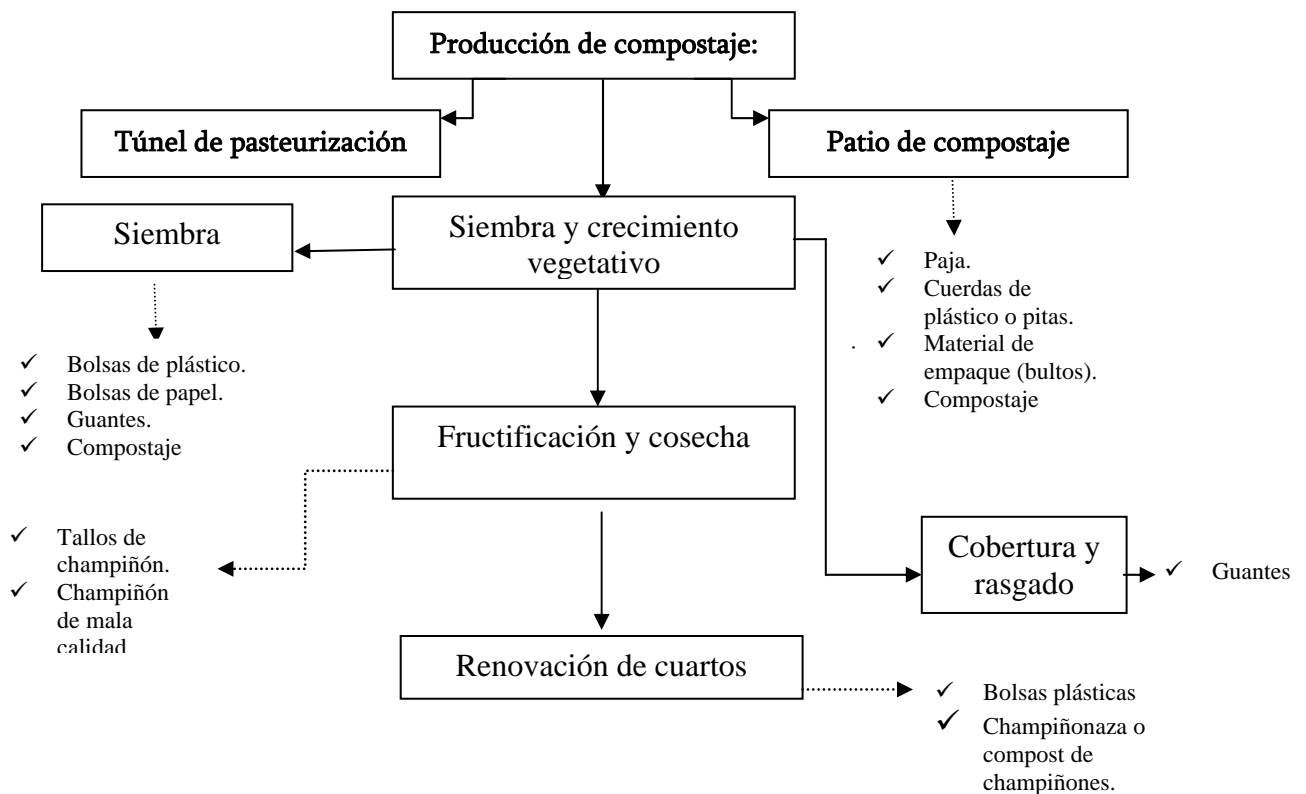


Figura 5. Representación esquemática del proceso productivo y residuos generados.

4.7 SITUACIÓN ACTUAL DE MANEJO DE RS GENERADOS EN LA PLANTA DE ESTUDIO.

Luego de la identificación de los residuos sólidos es importante determinar de qué clase son y si estos son aprovechables, además de determinar en qué proceso se genera mayor cantidad de residuos sólidos (tasa de producción). Se puede observar en la Tabla 4 las cantidades anuales generados en la planta de producción de champiñón con base en la producción de análisis.

Los procesos considerados como principales fuentes de generación de residuos sólidos corresponden a la cosecha y renovación de cuartos. En total los residuos sólidos (RS) reportados en la etapa de renovación de cuartos corresponden a 21.600 unidades de bolsas plásticas y 216 toneladas anuales de sustrato gastado de champiñón (champiñonaza), teniendo en cuenta que la planta actualmente está trabajando al 50% de su capacidad productiva.

Tabla 4. Cantidad anual de Residuos sólidos generados por Setas del Carrizal LTDA.

Residuo Sólido (RS)	Cantidad/ por ciclo	Cantidad anual
Cuerdas de plástico	1200 unidades	7200 unidades
Material de empaque (bultos)	228 unidades	912 unidades
Bolsas de papel	480 unidades	1920 unidades
Bolsas plásticas	5400 unidades	21600 unidades
Compost	375 kilogramos	1,5 tn
Tallo del champiñón	500 kilogramos	3,0 tn
Champiñonaza	54000 kilogramos	216 tn
Guantes	900 pares	3600 pares

4.7.1. Descripción de los residuos sólidos (RS) generados en la planta.

- ▲ **Cuerdas de plástico, bolsas plásticas y material de empaque:** el plástico es un material utilizado en diferentes actividades, este es obtenido en el laboratorio mediante transformación sintética del carbono, pero también del hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos que se obtienen del petróleo. Los plásticos usados en la planta productora de champiñón son los conocidos como polipropileno (PP) que corresponde a las cuerdas de amarrar y polietileno de baja densidad (PEBD) que corresponde a las bolsas plásticas.

La planta productora de champiñón anualmente genera 21.600 unidades de bolsas plásticas, 7.200 unidades de cuerdas de fibra sintética y 912 unidades de material de empaque.

Cada vez que se renueva un cuarto, las bolsas plásticas pasan a formar parte de los desechos, no se reciclan y debido a que la zona donde se encuentra ubicada la planta es veredal y alejada del la zona municipal no cuenta con un sistema de recolección de basuras, por esta razón el manejo que se da a este tipo de residuo es la destrucción por medio de hogueras o fogatas a cielo abierto.

- ▲ **Bolsas de papel.** La semilla de champiñón es empacada en bolsas de papel con capacidad para almacenar 1 kilogramo. Después que la semilla es utilizada en el proceso de siembra las bolsas se convierten en residuo. La

finca genera 1920 unidades de bolsas anuales a las que no se les da manejo diferente a la quema en fogatas al aire libre.

- ▲ **Guantes de cirugía:** Son producidos en materiales como el látex, nitrilo y vinilo principalmente. Todas las actividades realizadas en la finca se hacen con guantes como elemento de protección industrial e higiénica. Los guantes son de único uso y luego son desechados. Los guantes no son un residuo aprovechable ni reciclable.

- ▲ **Compost, tallos de champiñón y champiñonaza:** la champiñonaza, el champiñón de mala calidad y los tallos del mismo son un residuo sólido orgánico al cual no se da manejo adecuado en la actualidad. Este residuo puede llegar a generar una seria problemática ambiental, ya que puede llegar a colmatar la planta, generar malos olores, vertimiento de lixiviados y la proliferación de moscas ocasionado un molestias para los vecinos y la finca. Adicionalmente, pueden ocasionar problemas de propagación de vectores de contaminación en el proceso de producción y por lo tanto repercusiones graves desde el punto de vista económico. El compost sobrante del patio de compostaje recibe otro tipo de tratamiento, el cual se aprovecha para la venta a los campesinos de la vereda para abono de cultivos orgánicos.

Uno de los grandes problemas que se presenta en la actualidad en la planta es el manejo inadecuado que se le esta dando a la mayoría de los residuos sólidos que allí se generan,

el cual corresponde a la quema de los residuos por medio de fogatas hechas al aire libre sin ningún control. La práctica de incineración además de desaparecer el residuo en un corto tiempo es económica, constituyendo un gran problema de contaminación ambiental ya que genera gases tóxicos que deterioran el medio ambiente y generan problemas en la salud humana. Uno de los residuos quemados es el plástico, que al entrar en combustión genera gases venenosos como el plomo, un elemento tóxico por inhalación.

Como la quema de los residuos se hace al nivel del suelo, la probabilidad que los contaminantes no se dispersen es mayor. La quema de los residuos sólidos no es una práctica realizada únicamente por la planta en mención sino que es una práctica generalizada en la zona, dado que no se cuenta con otro medio de disposición final de los residuos y ausencia total de seguimiento ambiental de la autoridad municipal.

4.8 CLASIFICACIÓN DE LOS RS DE LA PLANTA SETAS DEL CARRIZAL

Los materiales y elementos sólidos que genera la planta en su gran mayoría son residuos sólidos considerados como convencionales. Los residuos convencionales son materiales o elementos sólidos que por su naturaleza, uso o contacto con otros elementos no son peligrosos, siendo susceptibles de aprovechamiento o transformación.

En la

Tabla 5, se puede observar el tipo de residuo generado y la clasificación del mismo. Los residuos generados por la planta son residuos convencionales y en su gran mayoría son aprovechables y reciclables.

Tabla 5. Clasificación de los residuos sólidos generados en SETAS DEL CARRIZAL LTDA.

RESIDUO SÓLIDO	TIPO DE RESIDUO	CLASIFICACIÓN
Bolsas plásticas	Convencional	Aprovechable y reciclable
Empaques (bultos)	Convencional	Aprovechable y reciclable
Bolsas de papel	Convencional	Aprovechable y reciclable
Cuerdas de plástico	Convencional	Aprovechable y reciclable
Guantes de cirugía	Convencional	No Aprovechable
Compost	Convencional	Aprovechable
Residuos de champiñón	Convencional	Aprovechable
Champiñonaza	Convencional	Aprovechable

5. MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS

Después de haber identificado los residuos sólidos generados en la planta y verificar que no se ha implementado ningún Plan para el Manejo de los Residuos PMR), se procede a plantear alternativas para la disposición final de los residuos. Los residuos sólidos generados por la Planta Productora y Comercializadora de Champiñón son de dos tipos de residuos sólidos, los residuos sólidos no degradables y los degradables. Los residuos sólidos orgánicos o biodegradables son aquellos que pueden ser descompuestos por la acción de la naturaleza (sustrato gastado del champiñón, residuos de champiñón, papel), mientras que los residuos sólidos inorgánicos son aquellos que no pueden ser degradados o desdoblados naturalmente, estos residuos provienen de minerales y productos sintéticos como las bolsas de plástico, las cuerdas para amarrar y material de empaque.

La planta genera 38800 piezas o unidades/año de residuos como material de empaque, cuerdas y bolsas (polipropileno y papel). En la Tabla 6, se pueden observar los porcentajes de los residuos sólidos que son generados y cuantificados por medio de unidades o piezas generadas, además se observa que la planta actualmente genera el 55.62% de residuos de bolsas plásticas, seguido de un 18.45% de cuerdas para amarrar y guantes de cirugía.

Tabla 6. Porcentajes totales de Residuos sólidos generados anualmente.

RESIDUO SÓLIDO	PORCENTAJE DE APARICIÓN
Bolsas plásticas	55.62
Material de Empaque (bultos)	2.35
Bolsas de papel	4.95
Cuerdas de plástico	18.54
Guantes de cirugía	18.54

En la Tabla 7, se puede observar los residuos sólidos de origen vegetal que resultan de la producción anual. Se puede observar que el sustrato gastado de champiñón es el principal residuo sólido de origen vegetal generado en la finca con un 97.98%, lo cual indica que en la renovación de los cuartos es donde se genera la mayor cantidad de residuos sólidos, ya que es en esta etapa del proceso donde las bolsas plásticas y el sustrato gastado de champiñón (champiñonaza) pasan a ser residuos dado que ésta pierde gran porcentaje de nutrientes para la germinación de los micelios.

Tabla 7. Porcentajes totales de Residuos sólidos generados anualmente.

RESIDUO SÓLIDO	PORCENTAJE DE APARICIÓN
Compost	0.68%
Sustrato gastado de champiñón	97.98%
Residuos de champiñón (tallos, Champiñón de mala calidad)	1.33%

5.1 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Para realizar el manejo integral de residuos sólidos es importante identificar las posibilidades de minimización de los residuos sólidos generados. La minimización de residuos se plantea como una medida preventiva antes que correctiva, de manera que, minimizando la cantidad de materia prima en las etapas del proceso, disminuye así mismo la generación de residuos sólidos.

Para lograr la minimización de los residuos sólidos generados, es necesario realizar cambios en el tipo de producción, actualmente, el sistema de cultivo de champiñón se realiza en bolsas o sacos, pero existen otros sistemas productivos como la producción en estantes o bandejas, estos sistemas de producción se llevan a cabo en estantes de madera y bandejas estandarizadas en acero inoxidable respectivamente. Implementando los sistemas productivos mencionados arriba, la utilización de las bolsas plásticas no son necesarias, reduciendo así el 100 % de los residuos generados en la actualidad por este concepto.

La dificultad de la implementación de alguno de estos sistemas productivos es la falta de tecnificación de la empresa ya que la utilización de las bolsas es un sistema práctico no solo desde el punto de vista económico sino higiénico del cultivo ya que la presencia de alguna enfermedad permite aislar las bolsas contaminadas, mientras que con alguno de los otros sistemas de cultivo esto no sería posible y se podrían tener pérdidas en la producción, por esta razón un cambio en el sistema productivo debe hacerse de una manera muy pausada.

Las cuerdas plásticas, el material de empaque y las bolsas de papel son residuos que no dependen directamente de la empresa ya que éstos llegan a la planta con las materias primas usadas en el proceso de producción.

Los guantes de cirugía pueden ser reemplazados por guantes de otra material y mayor duración, estos podrían ser lavados y desinfectados para que puedan ser utilizados en diferentes procesos de la planta.

El sustrato gastado de champiñón y los residuos de champiñón no pueden minimizarse, ya que dependen directamente de la cantidad de producción de champiñón de la planta (a mayor producción mayor generación de estos residuos).

5.2 RECICLAJE

El reciclaje es el proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo, ya sea este el mismo en que fue generado u otro diferente. El reciclaje también se suele definir como un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos e industriales.

Existen tres procesos o actividades principales en el proceso de reciclaje, saber:

- ▲ **La recolección.** Se deben juntar cantidades considerables de material reciclable y separar los elementos contaminantes o no reciclables y clasificar los materiales de acuerdo al tipo específico.

- ▲ **Manufactura.** Los materiales clasificados se utilizan como nuevos productos o como materia prima para algún o algunos procesos.
- ▲ **Consumo.** Los materiales de desperdicio deben ser consumidos. Los compradores o consumidores deben demandar productos reciclados ya que sin esa demanda el proceso de reciclaje se vería detenido.

Los residuos generados en la planta a excepción de los guantes son materiales que se pueden reciclar y reutilizar. Los materiales reciclables son:

- ▲ Papel (bolsas de papel)
- ▲ Plástico (cuerdas de plásticos, material de empaque, bolsas plásticas).

5.2.1 Reciclaje de Plástico

El impacto nocivo que producen los plásticos en el medio ambiente es menor que el ocasionado por otros materiales tradicionales, su fabricación requiere menos recursos que en otros casos, su ligereza y resistencia medioambiental aportan claras ventajas en su eficacia (transporte, embalaje, etc.) y además, los plásticos se pueden reciclar.

Existen dos soluciones generales para cuando un producto se convierte en residuo, disponerlo a un vertedero o recuperarlo. Los plásticos no se degradan en el medio ambiente como la basura orgánica y la primera opción (disponerlo en vertederos) no es ambientalmente aceptable, por eso la recuperación de los plásticos es la mejor opción, no solo ambiental sino económicamente. La segunda opción (recuperación) se divide en reutilización y reciclaje. En la Figura 6, se puede observar la manufactura, uso, reuso y

reciclaje del plástico de la Guía de buenas prácticas para el reciclaje de plástico de la República del Perú.

Los residuos de origen plástico también se pueden reusar en actividades propias de la planta, por ejemplo, los materiales de empaque (lonas y/o bultos), pueden reutilizarse para embalaje del compost sobrante. Las cuerdas de amarrar se almacenan en bultos y se van utilizando en diversas actividades de la planta.

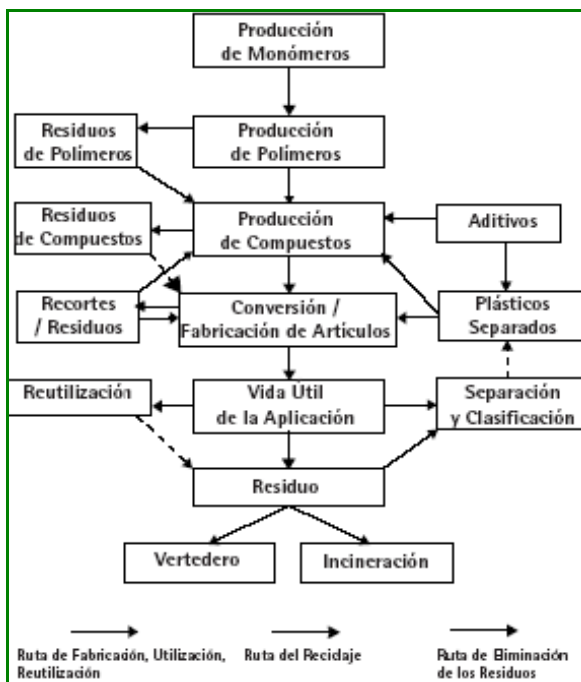


Figura 6. Manufactura, uso, reuso y reciclaje del plástico (tomado de Guía de buenas prácticas para el reciclaje de plástico por ACRR).

5.2.2 Reciclaje de Papel

En la actualidad la planta genera como RS 1.920 unidades/anales de bolsas de papel, lo que corresponde a 160 unidades mensuales, el manejo que se propone para la

reutilización del residuo en mención es la utilización de las bolsas en la etapa de cosecha, ya que éstas pueden ser colocadas en la base de las canastillas de recolección con el fin de absorber la humedad que es desprendida del champiñón y por medio de este proceso mejorar la calidad del producto final.

5.3 REUSO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN EL CULTIVO DE CHAMPIÑÓN.

5.3.1 Sustrato gastado del champiñón o champiñonaza. Es un residuo sólido de origen orgánico, que es generado por las plantas productoras de champiñón. A mayor número de productores de champiñón mayor es el residuo generado. Por esta razón a nivel mundial se han realizado diferentes estudios para la utilización y aprovechamiento de la champiñonaza que puede ser útil gracias a sus componentes nutricionales en diferentes actividades además de evitar una problemática medioambiental debido a los volúmenes generados de este residuo.

El residuo del compost gastado del champiñón constituye una fuente valiosa de materia orgánica y nutrientes que en la actualidad, está siendo desaprovechadas. La materia orgánica presente en este residuo orgánico puede solucionar problemas de esterilidad, erosión y contaminación de suelos, además de suponer una enmienda orgánica rica en elementos fertilizantes (Levanon *et al.*1994).

En la Tabla 8 se muestra una comparación de los componentes nutricionales del sustrato fresco y el sustrato gastado del champiñón efectuado por Setas Penn State Department of Plant Pathology.

Tabla 8. Componentes nutricionales del sustrato de champiñón tomado de Laboratorio de Investigación de setas Penn State Department of Plant Pathology.

Análisis De Sustrato De Champiñón			
Nutrientes	Unidades	Sustrato fresco	Sustrato Gastado
Sodio, Na	Wt% seco.	0.21 - 0.33	0.06
Potasio, K	Wt% seco.	1.93 - 2.58	0.43
Magnesio, Mg	Wt% seco.	0.45 - 0.82	0.88
Calcio, Ca	Wt% seco.	3.63 - 5.15	6.27
Aluminio, Al	Wt% seco.	0.17 - 0.28	0.58
Hierro, Fe	Wt% seco.	0.18 - 0.34	0.58
Fósforo, P	Wt% seco.	0.45 - 0.69	0.84
Amoniaco-N, NH ₄	Wt% seco.	0.06 - 0.24	0.00
Nitrógeno Orgánico	Wt% seco.	1.25 - 2.15	2.72
Nitrógeno Total	Wt% seco.	1.42 - 2.05	2.72
Sólidos	Wt% seco.	33.07 - 40.26	53.47
sólidos volátiles	Wt% seco.	52.49 - 72.42	54.24
pH	Standard Units	5.8 - 7.7	7.1
NPK ratio	PPM en peso seco.	1.8 - 0.6 - 2.2	2.7 - 0.8 - 0.47

La Ilustración 1 (Tomada de Lee, 2004) presenta los principales usos del sustrato gastado del champiñón, el cual se recomienda debe adoptarse para las condiciones de la planta piloto bajo estudio.



Ilustración 1. Usos del sustrato gastado del champiñón.

A continuación se presentan algunos de los usos del sustrato gastado del champiñón:

- ▲ **Agricultura.** El desarrollo de fertilizantes químicos redujo durante mucho tiempo el empleo de enmiendas orgánicas hasta que, recientemente, conceptos como los de agricultura sostenible o ecológica han aumentado de nuevo la demanda de los fertilizantes orgánicos. El compostaje de los residuos orgánicos constituye la principal fuente de nutrientes en la agricultura ecológica. En la agricultura convencional se han desarrollado numerosas experiencias, con resultados espectaculares en algunos casos (Kenneth et al., 1995, Maher, 1994).

En el estado de Pensylvania, EE.UU., la valorización del SMS (spent mushroom substrates) es ya un hecho. La producción de SMS en el periodo 1990-1991 fue de 551.040 ton. De esta cantidad, el 15% (82.656 ton) se recicló para su utilización nuevamente en el cultivo del

champiñón. Otro 20.0 % se utilizó como enmienda orgánica y abonado de cultivos. Un 25% se empleó como sustrato en horticultura y jardinería, previa fermentación y el 20% restante se usó para recuperar terrenos pantanosos.

En Colombia el sustrato gastado de champiñón es usado en cultivos como lulo y uchuva. Un estudio realizado por CORPOICA determinó que la aplicación de 750 Kg/Ha de champiñonaza en el cultivo de lulo “la selva” mejora la producción consiguiendo altos rendimientos en las cosechas, además se determinó que el uso de este sustrato no altera el porcentaje de grados Brix de los frutos, por el contrario se observó un aumento de la primera a la última cosecha del 80 al 100%. En el cultivo de la uchuva también es recomendable usar la champiñonaza como fertilizante.

El sustrato gastado del champiñón también es usado en cultivos bajo invernaderos, especialmente cultivos de flores. La champiñonaza se ha usado en Producción de crisantemos, liliás de pascua, petunias, helleborus (Rathier 1980,1982, Dallon 1987, White 1976 a, b, c, d).

El sustrato de champiñón también es usado como mejorador de suelos para la producción de té (manivel et al.1994), también es usado como una alternativa para reemplazar el uso de Bromuro de metilo en el cultivo de fresas (Sanees and Ingham 1997).

- ▲ **Horticultura.** El sustrato gastado del champiñón también es usado en la horticultura para la producción de vegetales y en cultivos ornamentales.

La decreciente disponibilidad de turba, ha propiciado la búsqueda de posibles sustitutos entre los que se encuentran los residuos orgánicos compostados que recientemente están ganando una enorme importancia en el mercado.

Una de estas alternativas, la constituye el sustrato gastado de champiñones. La champiñonaza debe competir en el mercado con el resto de residuos reciclados, tales como el compost de R.S.U. (residuos sólidos urbanos) o el proveniente de los lodos de depuradora, pero el SMS posee una serie de ventajas sobre los anteriores que indudablemente lo hacen más atractivo (Levanon *et al.*1994):

- a) No posee elementos patógenos provenientes de plantas, animales y humanos.
- b) Es un residuo relativamente homogéneo.
- c) Contiene concentraciones inapreciables de compuestos orgánicos tóxicos o metales pesados.

En Argentina, el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur realizó una investigación sobre la aplicación del sustrato gastado del champiñón en producción bajo invernadero de plantines. Esta investigación concluyó que el uso del sustrato gastado de champiñón constituye una buena fuente de minerales y nutrientes, sin embargo, su alto contenido de sales presenta una posibilidad de toxicidad para las plantas. Su uso está limitado por su baja estabilidad, su baja disponibilidad de

agua y su alto nivel de toxicidad, el cual no puede ser siempre adecuado para todas las plantas. En general el contenido de sales solubles (5-8 mmho/cm) fue superior al nivel de 1 mmho/cm considerado seguro para la mayoría de las plantas y se debe principalmente a un exceso en sales de potasio, sulfato de calcio, cloruros y sodio. Sin embargo, en proporciones que van de 25 a 50% se puede usar con éxito en la preparación de plantines ornamentales. La utilidad del sustrato gastado del champiñón en macetas en viveros ornamentales está relacionada a la temprana y rápida pérdida del alto contenido salino por lixiviación con el riego. Por ello se recomiendan riegos frecuentes para no permitir que el sustrato se seque.

Con la utilización de estos sustratos existe la posibilidad de obtener no solo beneficio económico sino ambiental, de manera que la industria del vivero puede proporcionar una vía de reciclado ambiental.

El sustrato gastado del champiñón también es utilizado por la industria de césped en el norte de los Estados Unidos para el mejoramiento de los suelos (coberturas vegetales y análisis de forrajes para alimento de ganado).

- ▲ **Biorremediación.** El sustrato gastado de champiñón posee un gran potencial en el tratamiento in situ de suelos contaminados y ofrece una alternativa para la descontaminación de los terrenos en los que se han depositado residuos tóxicos y peligrosos.

Para su utilización en la biogeneración de suelo y agua, el sustrato de champiñón debe utilizarse fresco, ya que en este estado contiene la máxima cantidad de materia orgánica y, por lo tanto, una mayor absorción de compuestos tóxicos y activación de la masa microbiana encargada de biodegradar los compuestos orgánicos.

El sustrato gastado del champiñón ha probado ser el mejor tratamiento pasivo de las aguas generadas por la industria minera del carbón. Adicionalmente, el sustrato ha sido usado para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados provenientes de las minas del carbón.

Bajo condiciones de oxidación, el SMS posee una capacidad finita de retención de Fe, Mn e iones de Hidrógeno. En cambio, bajo condiciones reductoras, el SMS puede mantener la capacidad retentiva de Fe, elevar el pH y reducir la acidez. No obstante no se ha logrado prorrogar la retención del Mn (Stark et al.,1994).

A continuación se presentan las referencias bibliográficas de estudios realizados en biorremediación usando el sustrato gastado del champiñón en purificación de aire, agua y suelo.

Para la purificación del aire.

- Es utilizado mezclado con otros materiales para la remoción del H₂S (Shojaosadati and Siamak 1999) o de compuestos orgánicos volátiles.

Para la purificación del agua.

- Para el tratamiento del agua contaminada con metales procedente de las minas de carbón (Anón 1997, Dvorak et al. 1992, Stark et al.1994).
- Para tratar los ácidos contenidos en el drenaje procedente de las minas (Chang et al. 2000) en ambientes con tierras mojadas (Karathanasis and Thompson, 1990, Manyin et al. 1997, Stark and Williams 1994, Stark et al. 1995, Stark et al. 1996, Tarutis and Unz 1995, Vile and Wieder 1993, Wieder 1993).
- Para tratar aguas de las minas contaminadas con níquel (Hammack and Edenbom1992).
- Tratamiento biológico de las aguas de albañal (International Organic Solutions Corp.1996).
- Tratamiento de aguas contaminadas con elementos radioactivos y metales pesados (Groudev et al. 1999).

Para la purificación de suelos.

- Mejoramiento ante la toxicidad del zinc (Shuman and Li 1997).
- Degradación de clorofenoles, hidrocarburos policíclico aromáticos o monómeros aromáticos (Semple et al. 1995, Semple et al. 1998, Fermor et al 2000, Staments 2001).

Usos Miscelaneos del Sustrato:

- ▲ **Como sustituto de Agregados Finos.** En Pensylvania (USA) existe un gran crecimiento en la producción del champiñón, por esto los residuos del cultivo han generado un problema para el agricultor, el alto contenido de sales solubles existentes en el residuo han imposibilitado la aplicación inmediata del sustrato a los suelos agrícolas, por esto han estudiado otra posibilidad de uso que no sea en el área agrícola. En Pensylvania el sustrato del champiñón es usado como un sustituto de arenas que son usadas como soporte en carteles, postes y paredes de sonido.

En este estudio presentado en la conferencia internacional sobre la informática y toma de decisiones en Ingeniería civil y construcción en Montreal Canadá, se concluyó que el sustrato gastado champiñón puede ser reciclado como componente del hormigón por lo menos hasta el 30% de agregado fino puede ser sustituido por la champiñonaza con buenos resultados.

- ▲ **Mejoramiento de Suelos en General.**

El sustrato gastado del champiñón esta siendo utilizado como enmienda para los suelos pobres en nutrientes, ya que este puede mejorar la estructura de los suelos, reducir la erosión y facilitar el drenaje y aumenta la actividad microbiana.

Para ser usado como mejorador de los suelos el sustrato gastado debe ser pasteurizado antes de ser usado, este procedimiento puede hacerse antes de ser retirado de los cuartos de cultivo con el fin de matar la semilla del champiñón, agentes patógenos y otros hongos que se pueden encontrar en el sustrato.

A continuación se indican literatura técnica adicional que corresponde a fuente primaria de información y de consulta para analizar y validar experiencia internacional sobre el uso del sustrato gastado de champiñón en diversos usos:

- a) Efectos en las propiedades físicas y físico-químicas del suelo (Ranganathan and Selvaseelan 1997b).
- b) Fertilización orgánica (Cameron, K. 2001, comunicación personal; Gerrits 1987b, Levanon and Danal 1997, Maher 1990, Maher et al. 2000, Pryce 1991, Ranganathan and Selvaseelan 1997c, Robmson 1988, van Keulen, H. 2001, comunicación personal).

▲ **Uso en el control de Plagas y Enfermedades.**

Se encontraron referencias bibliográficas sobre el tema pero no se encontró información sobre aplicaciones específicas de la champiñonaza por esta razón se mencionan las investigaciones realizadas sobre el tema:

En el control de insectos.

Efecto sobre las poblaciones de escarabajos de la papa de Colorado (Stoner et al. 1996, Gent e/a/. 1998).

En el control de enfermedades.

- a) Efecto de los extractos acuosos (Yohalem et al. 1994, 1996) y mecanismos y dinámica de la inhibición de la costra de la manzana (Cronin et al. 1996).
- b) Efectos sobre la deshidratación y la pudrición de la raíz del pasto propenso a acostarse (Craft and Nelson 1996).
- c) Efectos sobre la enfermedad de los jitomates ocasionada por *Pythium* (Reigner et al. 2001).
- d) Efectos sobre la enfermedad ocasionada por *Verticillium* en los hongos comerciales (Guardmo 1998, Labuschagne et al. 2000, Wuest et al. 1996).
- e) Efectos sobre el nemátodo que se anuda en la raíz, *Meloidogyne incognita* (Kaul and Chhabra 1993, Verma 1986, 1993).
- f) Efectos en la enfermedad que ocasiona la necrosis de las hojas y tallos del chile (Upadhyay 2000).
- g) Efectos en las enfermedades que ocasionan la marchitez del clavel y la pudrición negra de la raíz del pepino (Ebben 1980).
- h) Supresión de enfermedades en el césped (Viji et al. 2000).
- i) Efecto en la enfermedad que ocasiona la muerte prematura de la papa ocasionada por *V. dahliae* and *P. penetrans* (Gent et al. 1998, LaMondia et al. 1999).
- j) Efectos sobre la *Rhizoctonia* en los pepinos (Nguyen et al. 1987).

- k) Efectos sobre la marchitez del jitomate ocasionada por *Fusarium* (Harender et al.1997).
- l) Efectos sobre los nemátodos predadores (Koning et al. 1996)
- m) Influencia en el intercambio gaseoso de la papas en presencia de *Verticillium dahliae* o de *Pratylenchus penetrans* (Gent et al. 1999).

Algunas de las reticencias que existen a la hora de plantear la reutilización del Compost usado de champiñón como enmienda orgánica ha sido su alto contenido de sales solubles.

La Universidad de la Rioja realizó los análisis al sustrato que se presentan a continuación y que deberán ser corroborados y/o tenidos en cuenta como punto de referencia para los trabajos experimentales que deberán efectuarse en Colombia:

Alta conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) es una medida empleada para determinar la salinidad de una solución o de un suelo. Se dice que un suelo es *salino* cuando contiene un exceso de sales solubles, cuyos iones en la solución del suelo impiden o dificultan el desarrollo normal de los cultivos.

En análisis realizados se obtuvieron lecturas de CE hasta 26.1 mS/cm a 25°C. En dichos ensayos, se determinó la conductividad eléctrica en el extracto de saturación recogido a partir de una muestra de compost de champiñón seca, triturada y tamizada a 0.5 mm. Cuando se utilizaron relaciones de extracción más amplias (1:5, 1:6 del método inglés) se

obtuvieron lecturas falsas de salinidad, ya que en estas soluciones, se solubilizan sales poco solubles como el sulfato cálcico (yeso) añadido al compost de champiñón durante su elaboración. El valor de la conductividad (26.1 mS/cm) es excesivamente alto, teniendo en cuenta que para que no se reduzca el crecimiento de las plantas más sensibles, la CE del sustrato de cultivo debe encontrarse entre valores de 2.0 - 3.5 mS/cm a 25°C.

En lo que respecta a la conductividad eléctrica del residuo del compost del champiñón, se midieron valores razonables y nada alarmantes. La lectura recogida del extracto de saturación de una muestra seca, triturada y tamizada a 0.5 mm fue de 4.86 mS/cm 25°C. A continuación se presenta en la Ilustración 2, el proceso que se debe llevar a cabo por la Planta para el manejo adecuado del sustrato gastado del champiñón.

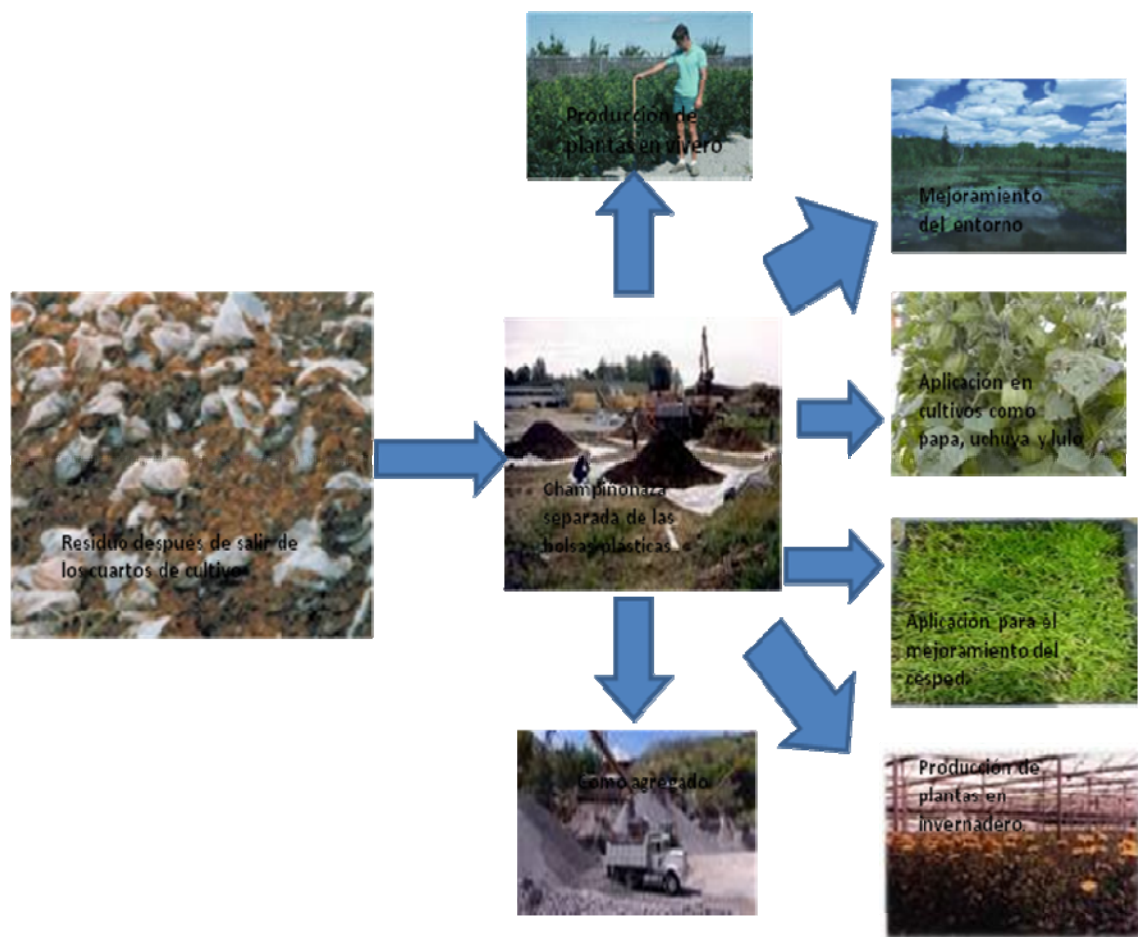


Ilustración 2. Sistema de disposición final del sustrato gastado del champiñón.

En el diagrama presentado se puede observar las diferentes alternativas que se tienen para utilizar y aprovechar la champiñonaza, una solución inmediata para darle el manejo a este residuo es aprovechar las actividades económicas de la región, teniendo en cuenta que en la zona es productora de uchuva y papa.

5.3.2 Usos del tallo de champiñón.

En la cosecha del champiñón los tallos son cortados quedando como residuo de la producción y éste contiene las mismas componentes nutricionales del champiñón, es

decir, es rico en nutrientes, por esta razón plantas grandes los lavan y posteriormente los someten a cocción para venderlos como conservas, en el caso que los residuos no sean significativos son usados como alimentación de animales como cerdos, ovejas y cabras.

En la Ilustración 3, se ilustra el proceso que se debe llevar a cabo por la Planta para el manejo adecuado del residuo de champiñón generado en el proceso de cosecha (tallos).



Ilustración 3. Disposición final de los residuos del champiñón generados en la cosecha.

Los residuos generados en la Planta generados en la cosecha no son significativos como para que sean industrializados por la planta en conservas. Una solución que se plantea es usar este residuo como alimento para animales (cerdos).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ La implementación de planes de manejo integral de residuos sólidos es de vital importancia para cualquier actividad industrial, ya que un mal manejo y una mala disposición de éstos pueden ocasionar graves problemas ambientales.
- ✓ En la actualidad, los residuos generados en la planta estudiada como los plásticos y el papel tienen un manejo inadecuado ya que por la necesidad de deshacerse de los desechos antes de que estos colmaten las instalaciones de la finca, son quemados en campo abierto sin ningún control ocasionando la liberación de gases tóxicos nocivos para el medio ambiente y el hombre.
- ✓ La incineración de estos residuos es una forma rápida y fácil de deshacerse de los volúmenes que son generados diariamente en la finca, sin embargo estos residuos tienen la característica de que son aprovechables es decir que se pueden reciclar y transformar.
- ✓ Para el aprovechamiento de los residuos generados en la finca, los residuos deben ser separados y limpiados en la fuente de generación clasificándolos según sus características con el fin de determinar si son o no aprovechables.
- ✓ Los residuos aprovechables como el plástico y papel son aquellos residuos que se pueden transformar de forma indirecta o directa, trayendo beneficios económicos para la planta, ya que estos residuos pueden ser aprovechables no solo técnica sino económicamente.

- ✓ Algunos de los residuos generados como el material de empaque y las cuerdas pueden ser almacenados en la finca y reutilizarlos en diversas actividades de la finca. Los bultos sirven para almacenar los residuos generados en el proceso de cosecha y para almacenar el compost y el sustrato gastado del champiñón para posterior comercialización.
- ✓ El sustrato gastado de champiñón en la actualidad es dispuesto en las instalaciones de la planta ocasionando proliferación de moscas y malos olores que se desprenden del sustrato convirtiéndose en una molestia para los trabajadores y vecinos, por esta razón se dispuso de un lote cercano a la planta donde el sustrato luego de salir de los cuartos es transportado allí y luego reutilizarlos.
- ✓ Es recomendable para el aprovechamiento de la champiñonaza que ésta sea pasteurizada o sometida a la aplicación de vapor de agua. Esta actividad puede realizarse actualmente ya que los cuartos cuentan con las instalaciones de tuberías para la aplicación de vapor pero no se hace de forma efectiva, cuestión que deberá revisarse para potencial el uso del sustrato. Se recomienda hacer el choque de vapor para eliminar agentes patógenos, residuos de semilla y larvas de moscas.
- ✓ El sustrato gastado del champiñón (SMS por sus siglas en inglés) cuenta con características nutricionales y materia orgánica que lo hacen muy apetecido para generar un abono orgánico de alta calidad, transformando el actual residuo en una fuente de riqueza.

- ✓ Los usos que se le pueden dar al sustrato gastado del champiñón son muy diversos ya que se pueden usar en diferentes actividades agrícolas y ambientales de comprobada utilidad en diversos estudios a nivel internacional.
- ✓ En Colombia, se han realizado pocas investigaciones donde CORPOICA efectuó el análisis de la aplicación del sustrato gastado del champiñón en cultivos de uchuva y lulo, pero queda mucho camino por recorrer y discutir, razón por lo que se recomienda efectuar un análisis físico y químico del sustrato y efectuar evaluaciones de calidad en producción y rendimiento en las diversas aplicaciones probadas en otras latitudes y en otras tantas que potencien el agro colombiano.
- ✓ Los tallos de champiñón y otros residuos generados en la cosecha son una buena fuente alimenticia para la alimentación de animales.
- ✓ Se recomienda crear una línea investigación para la implementación del sustrato gastado del champiñón en las diversas áreas del sector agropecuario colombiano, con el fin de garantizar que los componentes nutricionales del SMS sean potenciados y comparados con el aporte nutricional de los abonos químicos del mercado nacional, dado que el uso del SMS puede conllevar una producción limpia y verde.

7. BIBLIOGRAFIA.

1. **Albacete.** Medio Ambiente y el sector buscan soluciones a los residuos del champiñón, 7 de Julio del 2006.
2. **Revista Páginas De Información Ambiental.** La Rioja. Compost de alta calidad de sustrato agotado del cultivo de champiñón, Nº 24 octubre de 2006.
3. **Meringo I Francisco, Sanz S Antonio, Hernando G Felipe, Gea A Francisco,** Normas técnicas de producción integrada de champiñón. Gobierno de la Rioja.
4. Manual práctico técnicas de compostaje.
5. **Josep Roselló.** Apuntes “Compostaje de subproductos agrícolas”.
6. **Martínez Farré F. Xavier.** Gestión y tratamiento de Residuos Agrícolas.
7. **Ministerio del Medio Ambiente.** Metodología para la Elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
8. **Vaquero Días Iván,** Manual de Diseño Y construcción de Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos, Madrid 2004.
9. **Colmenar Mendoza F, Gallardo Izquierdo A,** Tratamiento y gestión de residuos sólidos, Universidad Politécnica de Valencia, 2007.
10. **Universidad Industrial de Santander,** Residuos Sólidos, 2005.
11. **Alcaldía de Cali,** Plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS 2004-2009.
12. **Mingxin Guo, Jon Chorover and Richard H. Fox.** Effects of Spent Mushroom Substrate Weathering on the Chemistry of Underlying Soils.
13. **Ordieres J, Alba F.** proyecto de investigación sobre generación de Biomasa desde el residuo del champiñón, 2000.

14. **Chong, C. and M. Wickware.** Mushroom compost trial at Canavonda Nursery. Horticulture Review7 (6): 10-11, 13. 1989.
15. **Chong, C., R.A. Cline and D.L. Rinker.** Organic wastes as growing media. Proceedings of International Plant Propagators Society 41:399-403. 1991.
16. **Devonald, V.G.** Spent mushroom compost: a possible growing médium ingredient? In: M. de Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L'Hermitte and F. Zucchini (eds). Compost: Production, Quality and Use Elsevier Applied Science, New York. 1987.
17. **Edwards, C.A., I. Burrow s, K.E. Fletcher and B.A. Jones.** The use of earthworms for composting farm wastes. pp229-242. In: J.K.R. Gasser (ed). Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers, London. 1985.
18. **Eggen, T.** Application of fungal substrate from commercial mushroom production - *Pleurotus ostreatus* - for bioremediation of creosote contaminated soil. International Biodeterioration and Biodegradation 44(2-3): 117-126. 1999.
19. **Levanon, D.,Danai, O.** Chemical, Physical and Microbiological Considerations in Recycling Spent Mushroom Substrate. Migal, GalileeTechnological Center, Kiryat Shmona, Israel. 1994.
20. **Szmidt, R., 1994.** Recycling of Spent Mushroom Substrates by Aertobic omposting to Produce Novel Horticultural Substrates. SAC, Auchincruive, Scotland.
21. **Stark, L.R., Williams, F.M., 1994.** The roles of SMS for Mitigation of Coal Mine Drainage. Department of Biology, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania.
22. **Maher, M.J., 1994.** The Use of SMS as an Organic Manure and Plant Substrate

Component. Agriculture and Food Development Authority, Crop Production
Department, Kinsealy Research, Dublin, Ireland.