

BIOSISTEMA INTEGRADO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CACOTA DE ALGODÓN EN EL MUNICIPIO DE AGUACHICA CESAR

ROCIO ROPERO PALLARES

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2015

BIOSISTEMA INTEGRADO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA CACOTA DE ALGODÓN EN EL MUNICIPIO DE AGUACHICA CESAR

ROCIO ROPERO PALLARES

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Doctor. NELSON RODRIGUEZ VALENCIA

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Cohorte VII

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales Colombia

2015

DEDICATORIA

*Al artífice y conductor de la maravillosa obra en mi vida, el **Padre Celestial**.*

*Al ángel, que motiva con delicado amor mi felicidad y patrocinador paciente de mi superación, mi esposo **Wilson**.*

*A los motores que magnifican la razón de mi existencia mis hijos, **Sahian, Fredy y Rowil**.*

*...y a la sabia madre que Bendecida por Dios, me permite cosechar de sus frutos y aún cuida de mí, **Doris**.*

“Así que la tarea no es contemplar lo que nadie ha contemplado todavía sino meditar, como nadie ha meditado aun, sobre lo que todo el mundo tiene ante sus ojos”.

Schopenhauer

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Nelson Rodríguez Valencia, Investigador Científico III de la disciplina de Gestión de Recursos Naturales y Conservación, por el sencillo y magno compartir de su maravilloso conocimiento, facilitador de métodos y enseñanza, a pesar de que la virtualidad ha sido el único contacto, su buena voluntad y compromiso promovió la pasión por la ciencia y generación de nuevo conocimiento.

A Wilson Sánchez Vargas, coordinador del programa de Tecnología Agropecuaria en la UPC seccional Aguachica, por haber impulsado la iniciativa de emprender este nuevo reto en mi vida, por el apoyo en tiempo, paciencia y comprensión para adelantar todo el proceso académico y de investigación.

A los Ingenieros Hacíp Gonzales y Hugo Salas, funcionarios de la empresa Coalcesar, por facilitar gentil e incondicionalmente el objeto de estudio, así como información local del proceso agroindustrial del cultivo de algodón.

A los estudiantes de Tecnología agropecuaria UPC, Yait Salazar y Emanuel Sánchez, por su esmerado trabajo colaborativo y compromiso con el proceso producción de hongos.

A Don Rubiel Contreras, por su oportuna colaboración en los registros de datos y vigilancia del proceso en la finca San Francisco.

A aquellos que indirectamente me motivaron y reanimaron a seguir adelante, a creer en la educación y disfrutar del conocimiento.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar un Biosistema integrado a partir de la “cacota” de algodón, para la producción de hongos comestibles, abono orgánico y depuración de aguas residuales.

Se caracterizó la cacota de algodón, con el fin de determinar su potencial para el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* (*P. pulmonarius*, *P. sajor caju*, *P. florida* y *P. ostreatus*), en el municipio de Aguachica, Cesar y de esta forma aprovechar la biomasa, evitando que se convierta en una fuente de contaminación de los recursos naturales. Con base a la caracterización de la cacota, se prepararon tres formulaciones, con 12 tratamientos, donde se evaluaron las variables, rendimiento medio, eficiencia biológica y precocidad.

Las mayores precocidades se encontraron para la formulación 3, constituida por 79% de cacota gruesa, 19% de cacota fina, 1% de carbonato y 1% de yeso, siendo de 25 días para las cepas de *P. ostreatus*, *P. sajor caju* y *P. pulmonarius*. Los mayores rendimientos medios y eficiencias biológicas se alcanzaron con la cepa de *Pleurotus sajor caju* (118,84%), seguidos de la cepa *Pleurotus pulmonarius* (111,79%), en la formulación 3; entre los cuales no se encontraron diferencias significativas a un nivel de significancia del 5%. De acuerdo a los resultados se determinó que la mejor materia prima para la conformación del sustrato fue la cacota de algodón gruesa en estado fresco.

La descomposición del sustrato agotado mediante la lombricultura tardó 6 meses, en comparación con el proceso de compostaje a cielo abierto que tardó alrededor de 11 meses. El humus resultante constituye un mejorador de suelos, de acuerdo a sus características físicas. Los resultados de la utilización del sustrato agotado del cultivo de los hongos como medio filtrante para la depuración de las aguas residuales permitió observar una disminución en la DQO del orden del 21,85%, de los Sólidos Suspendidos Totales del 14,06%, de los Sólidos Totales del 11,76% y de la turbiedad del orden del 44,72%.

En la investigación se aceptó la hipótesis de trabajo “*Un biosistema integrado que involucre el cultivo del hongo Pleurotus sajor caju y la descomposición del sustrato agotado mediante la lombricultura, es el que permite obtener los mejores rendimientos de proceso para el aprovechamiento de la cacota de algodón*”

Palabras clave: Biosistema integrado, cacota de algodón, *Pleurotus* sp, residuos agroindustriales, lombricultura, agua residual.

Abstract

The objective of this research was to evaluate a biosystem integrated from the "cácosta" of cotton, for the production of edible fungi, organic fertilizer and sewage.

The cotton cácosta, was characterized to determine their potential for the cultivation of edible fungi of the genus *Pleurotus* (*p. pulmonarius*, *p. sajor-caju*, *p. florida* and *p. ostreatus*), in the municipality of Aguachica, Cesar and this way take advantage of biomass, avoiding that it becomes a source of pollution of natural resources. Based on the characterization of the cácosta, prepared three formulations, with 12 treatments, where we evaluated variables, average yield, biological efficiency and precocity.

The older precocidades were found for formulation 3, made up 79% of gross cácosta, 19% of fine cácosta, 1% of carbonate and 1% of gypsum, being 25 days for the strains of *p. ostreatus*, *p. sajor-caju*, *p. pulmonarius*. Higher average yields and biological efficiencies were achieved with the strain of *Pleurotus sajor-caju* (118,84%), followed by the strain of *Pleurotus pulmonarius* (111,79%), in the formulation 3; including significant differences were not found at a level of significance of 5%. According to the results determined that the best raw material for the conformation of the substrate was the thick cotton cácosta fresh.

Decomposition of the substrate exhausted through Vermiculture took 6 months, compared to the composting process open-pit took about 11 months. The resulting humus is a soil improver, according to their physical characteristics.

The results of the use of the substrate out of the mushroom as filter media for wastewater treatment allowed to observe a decrease in cod of 21.85%, of the total suspended solids of 14.06%, of total solids of 11.76% and 44,72% turbidity.

Research the working hypothesis was accepted "an integrated biosystem involving the cultivation of the mushroom *Pleurotus sajor-caju* and exhausted through Vermiculture, substrate decomposition is to which allows to get the best yields of process for the use of cácosta de cotton".

Key words: Integrated biosystem, Cacota in cotton, *Pleurotus* sp., agro-industrial waste, worm composting, waste substrate, waste water.

Tabla de contenido

GLOSARIO.....	18
Introducción	14
1. Planteamiento del problema.....	16
1.1. Identificación del problema	16
1.2. Formulación de la pregunta de investigación.....	20
2. Justificación	21
3. Objetivos	23
3.1. Objetivo General	23
3.2. Objetivos Específicos.....	23
4. Hipótesis	24
5. Marco Teórico.....	25
5.1. Marco contextual	25
5.2. Los Bio-sistemas integrados.....	27
5.2.1. Elementos constitutivos de los Biosistemas.....	28
5.2.2. Biosistemas integrados y el desarrollo sostenible.....	31
5.3. Generalidades del cultivo de algodón	32
5.3.1. El cultivo del algodón y el medio ambiente.....	32
5.4. Generalidades de los Hongos	35
5.4.1. Cultivo de hongos comestibles	38
5.4.2. Protocolo para cultivar hongos comestibles.....	38
5.4.3. Descripción de algunas especies del genero <i>Pleurotus</i>	39
5.4.4. Perspectiva económica de los hongos	44
5.5. Los Residuos	45
5.5.1. Gestión integral de los residuos sólidos.....	46
5.6. Lombricultura.....	47
5.6.1. Humus de Lombriz.....	47
5.6.2. El Cultivo de lombriz.....	48
5.7. Aguas residuales	49
5.7.1. Características de las aguas residuales.....	49

5.7.2.	Tratamiento de aguas residuales.....	51
5.7.3.	Reúso de aguas residuales	52
6.	Materiales y métodos	55
6.1.	Ubicación y Fecha de la investigación.	55
6.2.	Materiales	55
6.2.1.	Sustratos.....	55
6.2.2.	Suplementos.....	57
6.2.3.	Material Biológico	57
6.3.	Métodos	58
6.3.1.	Metodología para el objetivo específico numero 1	58
6.3.2.	Metodología para el objetivo específico numero 2.....	62
6.3.3.	Metodología para el objetivo específico numero 3.....	62
6.3.4.	Metodología para el objetivo específico numero 4.....	73
6.3.5.	Metodología para el objetivo específico numero 5.....	75
6.4.	Diseño Experimental	76
6.4.1.	Cultivo de hongos.....	76
6.4.2.	Transformación del sustrato agotado:.....	77
6.4.3.	Tratamiento de aguas residuales.	77
6.5	Variables de Medición	77
6.5.1.	Cultivo de hongos:.....	77
6.5.2.	Transformación del sustrato agotado:.....	78
6.5.3.	Tratamiento de aguas residuales.	78
7.	Resultados y discusión	79
7.1.	Resultados del objetivo específico N°1.	79
7.2.	Resultados del objetivo específico N°2.	81
7.3.	Resultados del objetivo específico N°3.	82
7.3.1.	Contaminaciones presentadas durante la incubación.	86
7.3.2.	Comparación de los resultados obtenidos en esta experimentación y los reportados por Otros Autores	93
7.4.	Resultados del objetivo específico N°4.	96

7.5. Resultados del objetivo específico N°5.	97
8. CONCLUSIONES	100
9. RECOMENDACIONES.....	102
Bibliografía.	103
ANEXOS.....	107

Lista de Figuras

FIGURA 1. ETAPAS EN EL CULTIVO DE LOS HONGOS.....	63
---	----

Lista de Ecuaciones

ECUACIÓN 1 CÁLCULO DE LA HUMEDAD.....	60
ECUACIÓN 2. EFICIENCIA BIOLÓGICA MEDIA	78

Lista de imágenes

IMAGEN 1: IMPACTO AMBIENTALES DEL PROCESO DE POS-COSECHA O BENEFICIO DEL ALGODÓN.	33
IMAGEN 2: DESMOTE DEL ALGODÓN PLANTA INDUSTRIAL COALCESAR.	33
IMAGEN 3: CARACTERIZACION AGROQUIMICA DE RESTOS DE ALGODÓN.	35
IMAGEN 4: MORFOLOGÍA DE LOS HONGOS SETAS.	36
IMAGEN 5: CICLO REPRODUCCIÓN DE UN HONGO SETA.	36
IMAGEN 6: MORFOLOGIA DEL <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i>	40
IMAGEN 7: <i>PLEUROTUS FLORIDA</i>	41
IMAGEN 8: <i>PLEUROTUS SAJOR CAJU</i>	42
IMAGEN 9: <i>PLEUROTUS PULMONARIUS</i>	43
IMAGEN 10: DESECHOS EN EL DESCAPOTE DEL ALGODÓN.	55
IMAGEN 11: A) CACOTA GRUESA. B) CACOTA FINA.	56
IMAGEN 12: SUSTRATO AGOTADO DEL CULTIVO DE HONGOS.	56
IMAGEN 13: AGUAS RESIDUALES PRODUCTO DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN DE LA CACOTA.	57
IMAGEN 14. A) CEPAS DE <i>PLEUROTUS SP</i> . B) SEMILLA COMERCIAL DE <i>PLEUROTUS SP</i>	57
IMAGEN 15: PIE DE CRÍA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA.	58
IMAGEN 16: TOMA DE LA MUESTRAS.	59
IMAGEN 17: ASPECTO DE LAS MUESTRAS ENVIADAS AL LABORATORIO	59
IMAGEN 18: DESTILACIÓN DEL AMONIACO EN LA SOLUCIÓN DE ÁCIDO BÓRICO. DESTILADOR BUCHÍ B-323.	61
IMAGEN 19: TITULACIÓN CON HCL 0.1 N. DOSIMAT	62
IMAGEN 20: PRODUCCIÓN DE SEMILLA EN BOTELLAS PLANAS.	63
IMAGEN 21: PRODUCCIÓN DE SEMILLA CEPA MADRE	64
IMAGEN 22: PRODUCCIÓN DE SEMILLA COMERCIAL	65
IMAGEN 23: ALMACENAMIENTO DE SEMILLA COMERCIAL DE <i>PLEUROTUS SP</i>	65
IMAGEN 24: PREPARACIÓN DE LAS FORMULACIONES A BASE DE CACOTA DE ALGODÓN.	66
IMAGEN 25: EMPAQUE DE LAS FORMULACIONES A BASE DE CACOTA DE ALGODÓN. ...	66
IMAGEN 26: ADECUACIÓN DE LOS SUSTRATOS POR FERMENTACIÓN ANAEROBIA.	67
IMAGEN 27: FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE ADECUACIÓN DEL SUSTRATO.	67
IMAGEN 28: ASPECTO DEL ÁREA DE SIEMBRA.	68
IMAGEN 29: MATERIALES PARA LA INOCULACIÓN.	69
IMAGEN 30: PROCESO DE INOCULACIÓN DE LOS SUSTRATOS.	69
IMAGEN 31: MUESTRAS DE SUSTRATO FERMENTADO Y AGUA RESIDUAL PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO.	70
IMAGEN 32: EMPACADO DEL MATERIAL INOCULADO.	70

IMAGEN 33: ROTULADO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES.	71
IMAGEN 34: REEMBOLSO PARA SUMINISTRAR OSCURIDAD.	71
IMAGEN 35: DISPOSICIÓN DE LAS BOLSAS EN CUERDAS COLGANTES.....	72
IMAGEN 36: DESARROLLO MICELIAL Y FORMACIÓN DE PRIMORDIOS.....	72
IMAGEN 37: DESARROLLO DEL CUERPO FRUCTÍFERO Y RECOLECCIÓN DE CARPOFOROS	73
IMAGEN 38: RECOLECCIÓN DEL SUSTRATO AGOTADO DEL CULTIVO DE HONGOS.	74
IMAGEN 39: DISPOSICIÓN DEL SUSTRATO AGOTADO EN CANASTAS PARA LOMBRICULTURA.....	74
IMAGEN 40: CANASTAS TRAMPAS PARA LA MIGRACIÓN DE LOMBRICES.....	75
IMAGEN 41: EVALUACIÓN DEL SUSTRATO AGOTADO COMO MEDIO FILTRANTE.	75
IMAGEN 42: DISPOSICIÓN DE LAS BOLSAS EN INCUBACIÓN.....	84
IMAGEN 43: BOLSAS SATURADAS DE HUMEDAD.	84
IMAGEN 44: CONTAMINACIÓN POR LARVAS DE MOSCA COMÚN EN EL TRATAMIENTO 2.	85
IMAGEN 45. CONTAMINACIÓN DE SEMILLA DE <i>P. SAJOR CAJU</i> CON <i>PENICILLIUM</i> SPP.	85
IMAGEN 46. COLONIZACION DEL MICELIO EN LA INCUBACIÓN.....	86
IMAGEN 47: UNIDADES EXPERIMENTALES DE <i>P. PULMONARIUS</i> , <i>P. SAJOR CAJU</i> Y <i>P.</i> <i>FLORIDA</i> DE LA FORMULACIÓN 1 CONTAMINADAS CON <i>ASPERGILLUS</i> SPP.....	86
IMAGEN 48: UNIDADES EXPERIMENTALES CONTAMINADAS CON <i>COPRINUS</i> SPP.	87
IMAGEN 49: PRIMORDIOS DE <i>P. OSTREATUS</i> Y <i>P. SAJOR CAJU</i>	88
IMAGEN 50: PRIMORDIOS DE <i>P. PULMONARIUS</i>	88
IMAGEN 51: CUERPOS REPRODUCTORES DE <i>P. OSTREATUS</i>	88
IMAGEN 52: CUERPOS REPRODUCTORES DE <i>P. SAJOR CAJU</i>	89
IMAGEN 53: CUERPOS REPRODUCTORES DE <i>P. PULMONARIUS</i>	89
IMAGEN 54: CUERPOS REPRODUCTORES DE <i>P. FLORIDA</i>	89
IMAGEN 55: HONGOS DESHIDRATADOS DE <i>PLEUROTUS</i> SPP.	90
IMAGEN 56. ASPECTO DEL FILTRO BIOLÓGICO. A: AGUAS RESIDUALES. B: BOMBA PERISTÁLTICA. C: LECHO DE SUSTRATO AGOTADO DE CACOTA DE ALGODÓN. D: RECIPIENTE DE AGUA FILTRADA.....	98
IMAGEN 57. ASPECTO DEL AGUA. A. SIN FILTRAR. B. FILTRADA	99

Lista de tablas

TABLA 1: CONTENIDOS NUTRICIONALES DE <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i>	40
TABLA 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	76
TABLA 3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CACOTA DE ALGODÓN	79
TABLA 3. PORCENTAJE DE LOS MATERIALES EN LAS FORMULACIONES EVALUADAS. ...	83
TABLA 5. PESO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS FORMULACIONES DESPUÉS DE LA FERMENTACIÓN.....	83
TABLA 6. RENDIMIENTOS TRATAMIENTOS 1 A 6.....	90
TABLA 7. RENDIMIENTOS TRATAMIENTOS 7 A 12.....	91
TABLA 8. RESULTADOS DEL PROCESO DE LOMBRICULTIVO	96
TABLA 9. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA Y RESIDUAL DE LA FERMENTACIÓN	97
TABLA 10. RESULTADOS DEL PROCESO DE FILTRACIÓN.....	98

Lista de Anexos

ANEXO 1. HUMEDAD	108
ANEXO 2. PH	110
ANEXO 3. CENIZAS	112
ANEXO 4. RELACION CARBONO NITROGENO	114

GLOSARIO

Agua residual: son llamadas aguas servidas, residuales, aguas negras o aguas cloacales, aquellas resultantes del uso doméstico o industrial del agua, pues habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo.

Basidio: órgano reproductor de los hongos basidiomicetos en cuyo exterior se forman las basidiosporas.

Basidioma: cuerpo fructífero o seta de los hongos basidiomicetos.

Basidiomicetos: grupo de hongos que producen sus esporas externamente sobre los llamados basidios.

Biomasa: Se considera biomasa a un grupo de productos energéticos y materia primas de tipo renovable que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica.

Biosistemas: Son quimio-sistemas (o reactores químicos) semi abiertos, que toman de su medio circundante la materia y energía que emplean, que sintetizan todos sus demás componentes y se reproducen (Bunge, 1985).

Biosistemas integrados: son aquellos que unen dos o más sistemas biológicos para transformar los residuos orgánicos y también inorgánicos en productos de valor agregado, mediante la utilización de procesos que involucran microorganismos, organismos mayores, animales y plantas, en ellos se cumple que los productos de salida de uno de los procesos se convierte en materia prima para el inicio del siguiente o de los siguientes procesos (Universidad de Manizales, 2010).

Carpóforo o cuerpo fructífero: nombre dado al cuerpo reproductor de los hongos, en el cual se producen las esporas.

Cacota de algodón: Son los materiales orgánicos desechados (pedúnculos, brácteas, y sépalos) en el proceso del descapote de la mota, después de obtener el producto principal del cultivo de algodón.

Cepa: micelio del hongo, genéticamente uniforme que posee características distintivas, y que se n tubos de ensayo que contienen medios nutritivos.

COALCESAR: cooperativa de algodoneros del cesar.

Color Verdadero: El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. (HACH, 1988).

Compostaje: Es un proceso biológico controlado que asegura la fermentación y descomposición, en presencia de aire, de residuos orgánicos, obteniendo un producto final más o menos estable, higiénico, de aspecto parecido a la tierra y rico en compuestos húmicos y nutrientes minerales.

Contaminación: La contaminación es la introducción de algún tipo de sustancia o energía que atentará contra el normal funcionamiento y equilibrio que ostentaba el medio, inicialmente, provocando además un daño casi irreversible.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): mide el grado de polución de desechos urbanos, agrícolas e industriales en términos de la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica que es susceptible de oxidación por un agente químico fuerte durante un tiempo determinado. Se determinó por el método de reflujos cerrados, método colorimétrico desarrollado por la HACH y aprobado por la U.S.EPA (HACH, 1988), utilizando un Espectrofotómetro HACH referencia DR-2000. Elimino paso a términos

Eficiencia biológica media: Se define como la media aritmética de la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato, multiplicado por cien, en las bolsas productivas.

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

Estípite: parte del hongo que sostiene el píleo. Tallo del hongo.

Fermentación: Es un proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico.

Fructificación: En hongos, es la fase sexual del ciclo de vida de un hongo, donde aparece el cuerpo fructífero caracterizado por el crecimiento vegetativo micelial, con el resto de su ciclo reproductivo.

Hifa: filamentos individuales del micelio.

Himeno: parte de las setas donde se encuentran localizados los elementos fértiles, productores de esporas.

Inoculación: Se refiere a la incorporación de una sustancia o un organismo a un medio que pueden favorecer el aprovechamiento de los nutrimentos del sustrato.

Lombricultura: Es una biotecnología que utiliza, a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz. Se trata de una interesante actividad zootécnica, que permite perfeccionar todos los sistemas de producción agrícola.

Nutracéuticos: Son productos basados en ingredientes procedentes de la propia naturaleza (animales, plantas o minerales) y se caracterizan por ser ricos en determinados nutrientes, lo cual determina su incidencia en la nutrición y en la salud.

pH: El pH o la actividad del ión hidrógeno indican a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas de una muestra determinada. El pH se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno

Píleo: sombrero del cuerpo reproductor.

Precocidad: Edad en que un organismo (plantas, animales, hongos) comienza a producir frutos.

Primordio: Cuerpo fructífero inicial, el estado de cabeza de alfiler del hongo.

Rendimiento medio: Se define como la media aritmética de la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato, multiplicado por cien, en todas las bolsas sembradas.

Seguridad alimentaria: Es la disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y el consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidad, calidad e inocuidad por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa. (Consejo Nacional de Política Económica Social de la Republica de Colombia. Departamento Nacional de Planeación).

Setas: Las setas o carpóforos son las fructificaciones de los hongos.

Sólidos Suspendidos Totales: se refieren a la materia que permanece como residuo sobre un medio filtrante, después de filtrar el agua. Para su determinación se utilizó el método gravimétrico (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

Sustrato: Para la ecología, el sustrato es la parte del biotopo (área de condiciones ambientales uniformes) donde ciertos seres vivos desarrollan sus funciones vitales y se relacionan entre sí. La bioquímica sostiene que un sustrato es una molécula sobre la cual actúa una enzima. Los hongos segregan enzimas

que se encargan de catalizar las reacciones químicas que involucran a un sustrato.

Sustrato agotado: nombre que recibe el sustrato cuando le han sido extraídas más de tres cosechas, y aún conserva propiedades como materia prima de un nuevo proceso.

Xilófago: adjetivo que se emplea en el terreno de la zoología para calificar a los insectos que se alimentan con madera.

Introducción

La región sur del Cesar tiene una tradición agrícola significativa, representada por diferentes cultivos como la palma africana, arroz, maíz y algodón entre otros, la producción e industrialización del cultivo de algodón, generan residuos heterogéneos, siendo uno de estos la “cacota”, la cual representa un problema desde el punto de vista ambiental debido a su inadecuada disposición final y a la falta de técnicas para su aprovechamiento y reuso.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar un Biosistema integrado a partir de residuos de cosecha del cultivo de algodón (“cacota”), para la producción de alimentos nutraceuticos, mediante el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* (*P. pulmonarius*, *P. sajor caju*, *P. florida* y *P. ostreatus*), en el municipio de Aguachica, Cesar y utilizar el sustrato agotado del cultivo para la producción de abonos orgánico y la depuración de aguas residuales agrícolas.

El documento aborda el desarrollo de la investigación, en las siguientes temáticas:

1. El planteamiento de los principales problemas en la región. En primera instancia el problema ambiental, generado por los residuos de cosecha, para este caso específicamente la cacota de algodón, segundo, la situación de seguridad alimentaria amenazada por los monocultivos y disponibilidad de suelos y tercero, la desertificación de los suelos producto de la agricultura y ganadería extensiva.
2. La importancia de generar alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos mediante un modelo de Biosistemas integrados, aprovechando las bondades nutraceuticas de los hongos comestibles, como fuente de proteína de hasta un 35% en base seca, vitaminas C, D y algunas del complejo B, niacina y ácido pantoténico, además de ácidos grasos insaturados y de bajo contenido calórico. (Escobedo). el sustrato agotado del cultivo como filtro depurador de aguas residuales y la lombricultura del sustrato agotado como fuente de generación de abonos orgánicos y acondicionadores de suelos.
3. El objetivo general de la investigación y los objetivos específicos que llevan a conseguir el objetivo general.
4. Se fórmula la hipótesis que pretende responder a las preguntas problema “Un biosistema integrado que involucre el cultivo del hongo *Pleurotus sajor caju* y la

descomposición del sustrato agotado mediante lombricultura, es el que permite obtener los mejores rendimientos de proceso para el aprovechamiento de la cacota de algodón”

5. La sustentación de los conceptos y la teoría que soporta la propuesta de un Biosistema integrado a partir de residuos de algodón, involucrando el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*, y la utilización del sustrato agotado del cultivo para la producción de abono orgánico mediante el proceso de lombricompostaje y para el tratamiento de aguas residuales, como una alternativa para promover la protección de los recursos naturales, la seguridad alimentaria y la recuperación de los suelos.

6. La descripción los materiales y métodos seguidos en cada una de los procesos propuestos.

7. Los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la investigación, relacionando datos de caracterización del sustrato “cacota” con los rendimientos medios, eficiencia biológica y producción de las cuatro especies de hongos estudiadas, así como la influencia de las condiciones climáticas sobre los procesos de fermentación, inoculación, incubación, fructificación y cosecha de los mismos. Aspectos como contaminaciones de los cultivos, compostaje, lombricompostaje y depuración de aguas residuales mediante sustratos agotados también se exponen en este capítulo.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron durante el tiempo de seguimiento y evaluación.

1. Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

Uno de los cultivos que predomina en la región del Cesar es el de algodón, esta materia prima es transformada, almacenada y comercializada en la empresa cooperativa, COALCESAR, situada en el municipio de Aguachica, a 6 km del casco urbano, quien tiene como procesos el desmote y clasificación del algodón, trillado de arroz y sorgo.

En estos procesos industriales se generan cantidades considerables de residuos sólidos, para el caso del algodón en el municipio de Aguachica, la producción media en el año 2014 fue de 2,1 toneladas/ha-año (Salas, 2014). Por cada ton de fibra que se procesa, se generan 90 kilos de residuo fresco, estos residuos compuestos por semillas y restos de pedúnculos, cáliz y brácteas, y sépalos llamados estos últimos cacota, equivalen a un 9.35% de la materia recibida, es decir para el 2014 el área cultivada fue de 1.745 ha, por lo que se estima un promedio de 342,6 toneladas de este residuo por cosecha una vez al año. Las semillas de algodón procedentes del desmote son suministradas al ganado bovino como suplemento alimenticio y la cacota es dispuesta en la parte posterior de la empresa a cielo abierto por largos periodos de tiempo a la merced del clima. Algunos componentes orgánicos de los vegetales (lignina, celulosa, entre otros) y el tamaño del sólido vegetal, son factores que retardan la descomposición por acción de los organismos encargados de oxidar la materia orgánica en su ciclo natural.

La inadecuada disposición final de estos residuos vegetales, son una preocupación ambiental, ya que estos desechos sólidos ocupan por largos períodos los suelos generando cambios en los usos del mismo, deterioro del paisaje, arrastre de lixiviados y sólidos a fuentes hídricas cercanas causando contaminación de las aguas que surten las comunidades dependientes de esta cuenca; además de la proliferación de vectores, emisión de gases efecto invernadero y desperdicio de biomasa, aún más cuando son incinerados.

La cooperativa COALCESAR es líder y única en la región en este proceso industrial, por lo que hace la recepción de todo el material proveniente del sur del Cesar y sur de Bolívar, la cooperativa regional no presenta hasta ahora alternativas para el aprovechamiento, recolección y disposición final de los residuos vegetales y orgánicos especiales. En algún tiempo implemento un lombricultivo que fracasó por la no demanda del lombricomposteo y el costo de manejo del cultivo (Salas, 2014).

Inicialmente estos residuos eran quemados, un incendio accidental en el almacenamiento de los fardos de algodón motivo la anulación de esta práctica, entonces pasaron a ser almacenados incontroladamente por tiempo indefinido a cielo abierto causando emisiones de material particulado, no obstante la dispersión, por parte de los vientos, de algunos contaminantes, favorecen su llegada a sitios distantes a varios kilómetros desde su origen, lo que termina afectando a las comunidades asentadas alrededor del sitio de disposición final.

Los terrenos afectados por la descargas de residuos vegetales generalmente se hacen en la periferia de los predios rurales y para el caso en particular en instalaciones de la planta industrial, donde laboran más de 130 trabajadores en cada ciclo productivo, además la empresa colinda con asentamientos humanos por su cercanía con el corregimiento poblado de villa de San Andrés que acoge un promedio de 300 habitantes.

La operatividad y los costos para el tratamiento de los residuos vegetales parecen ser la limitante para su aprovechamiento, a pesar de que el sector de los residuos sólidos en el mundo es un tema bastante tratado e investigado y con una variabilidad de oferta de posibles tecnologías y tratamientos para los residuos, es poco lo que se desarrolla o aplica principalmente por costos y/o inadecuada operación del sistema propuesto y en otros casos por insostenibilidad económica de la alternativa propuesta.

De esta manera los residuos de cosecha acumulados afectan directamente las condiciones de saneamiento básico de los habitantes de la zona, trabajadores, y por su parte los empresarios o productores se ven afectados en cuanto a su responsabilidad social y cumplimientos de metas que los certifiquen en procesos de calidad y medio ambiente.

En la región existen algunos casos aislados donde los administradores de finca disponen sus residuos vegetales (podas y residuos de cosecha) en composteras improvisadas y con manejos básicos de volteo sin ningún inoculante o tratamiento acelerador.

Se mencionan ensayos y precarios resultados en cuanto al tratamiento y aprovechamiento de otros residuos vegetales, especialmente los residuos compuestos por estructuras bioquímicas más complejas; como los raquis de palma, actualmente el material que se genera con las podas, aclareos, cortes fitosanitarios y las mismas hojas, es considerado como residuo y apenas en el mejor de los casos, es previamente tratado para utilizarlo como mejorador de suelo.

Por otro lado la FAO indica que la reducción del hambre a nivel mundial continúa, se calcula que unos 805 millones de personas están crónicamente subalimentadas en 2012-14 (FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014). Es decir, uno de cada nueve habitantes del planeta, no tiene suficiente alimento.

Para Colombia el panorama no es diferente, según el informe sobre 'El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo (The State of Food Insecurity in the World [SOFI], 2013) publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO),

Colombia es el país de la Alianza del Pacífico con más personas en estado de desnutrición, las cifras presentadas por la Organización, en el periodo entre 2011 y 2013, muestran que en Colombia hay 5,1 millones de personas en estado de desnutrición, la prevalencia de subalimentación en Colombia es de 10,6%; es decir, que cerca de 11 de cada 100 personas no alcanzan a suplir los requerimientos mínimos de energía alimentaria que necesitan al día.¹

El crecimiento poblacional deriva un aumento en la demanda de alimentos y los actuales sistemas de producción agropecuaria son dependientes de sistemas artificiales y costosos, con lo que se ha visto amenazada la seguridad y autonomía alimentaria, así lo registra un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) al sostener que:

En la siguiente década, la producción de alimentos crecerá a una tasa anual de 1.5 %, menor al incremento de 2.1 por ciento registrado en promedio entre 2003 y 2012, también expone que son varias las causas detrás de la caída. "La limitada expansión en la tierra disponible para uso agrícola, el incremento en los costos de producción, creciente escasez de recursos y aumento en las presiones ambientales, son los principales factores que explican esta tendencia. (Gonzales, 2013).

En cuanto a los costos de producción agrícolas, los fertilizantes tienen una gran importancia ya que estos representan entre el 20 y 30 de estos costos (Montoya, 2013); lo que impacta significativamente las inversiones que hacen los agricultores con el fin de incrementar los rendimientos del sector agropecuario, los altos precios de los fertilizantes es un desincentivo para los agricultores, en

¹ Artículo, Colombia, el país que más sufre hambre en la Alianza del Pacífico. Disponible en: http://www.larepublica.co/globoeconomia/colombia-el-pa%C3%ADs-que-m%C3%A1s-sufre-hambre-en-la-alianza-del-pac%C3%ADfico_74816

particular para aquellos con pequeñas explotaciones y con la mayor parte de la producción de alimentos destinados al consumo familiar.

La amenaza es inminente si mencionamos la creciente tendencia del departamento del cesar a implementar los monocultivos de palma de aceite y Maíz transgénico entre otros, así como la perpetuidad de la ganadería extensiva que ha traído consigo una desertización del suelo después de un siglo de agricultura tradicional y extractiva.

Una cadena de problemas necesita una cadena de soluciones, el pensamiento sistémico debe imperar en el desarrollo de los procesos y soluciones ambientales, teniendo en cuenta que los recursos naturales se encuentran interconectados y en forma muy compleja.

1.2. Formulación de la pregunta de investigación

Se establecen las siguientes preguntas:

¿Qué tipo de formulación y qué especie de hongo comestible del género *Pleurotus* permite obtener los mejores rendimientos en un Biosistema integrado de aprovechamiento de la cacota de algodón?

¿Cuál es el rendimiento y el tiempo de proceso del sustrato agotado del cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*, en su transformación en abono orgánico en un Biosistema integrado de aprovechamiento de la cacota de algodón?

¿Cuál es el rendimiento en la eliminación de carga orgánica y del color de las aguas residuales del proceso de cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*, utilizando el sustrato agotado del cultivo de hongos como medio filtrante, en un Biosistema integrado de aprovechamiento de la cacota de algodón?.

2. Justificación

Uno de los mayores problemas ambientales generados por el hombre son los residuos sólidos orgánicos ya que son arrojados a otros sistemas sin previo tratamiento y en cantidades masivas, generando contaminación. Según la editorial de la revista Alimentica # 5, de la universidad Jorge Tadeo Lozano “*los residuos sólidos orgánicos ocupan en el mundo un lugar prioritario desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, porque constituyen más del 85% de los residuos agrícolas y un porcentaje generoso de los residuos agroindustriales*” (ALIMENTICA 5), así que estos residuos constituyen una gran fuente de biomasa, la cual es actualmente desperdiciada y una energía acumulada a expensas del tiempo y la entropía.

La unión de dos o más sistemas biológicos para transformar los residuos orgánicos en productos con valor agregado mediante la utilización de métodos que generen una nueva materia prima para los siguientes procesos, se vislumbra como la compensación que pueda equilibrar la balanza y entonces funcionen juntos, como un todo interconectado que genera vida en un sistema dependiente de otro.

Se ha entendido que el equilibrio corresponde al perfecto funcionamiento de las cosas y hasta ahora hemos puesto más peso de un lado que del otro causando la regurgitación del planeta al no poder asimilar tanto residuo producto de la capacidad extractiva del hombre y ante la dependencia masiva del ser humano de los recursos naturales y la imperiosa necesidad de explotarlos para conveniencia del hombre bajo la figura de “Bienestar” (palabra que se conjuga con ambición, codicia, interés material, irresponsabilidad, desigualdad, etc.) como un mecanismo del imparable desarrollo insostenible.

Los Biosistemas integrados son una de las alternativas de solución al no ignorar que nuestro planeta es un sistema cerrado.

Por otro lado también se habla de que la producción mundial de alimentos debe incrementarse más del 70 % antes del año 2050 para poder dar de comer a 9.000 millones de personas, según las conclusiones de una jornada organizada por UNICEF y el Instituto de Cuestiones Agrarias y Medioambientales (ICAM) (Gonzales, 2013).

Siendo así el contexto, la jornada concluye que el aprovechamiento de la biomasa como recurso biológico constituye fuentes no tradicionales de materia

prima para la alimentación animal y humana, pues está previsto que el consumo per cápita crezca más rápidamente en Europa Oriental y Asia Central, seguidos de América Latina y otros países de Asia.

Este informe de la jornada también agrega:

Los precios de las materias primas agrícolas se ubican actualmente en niveles históricamente altos. Para los siguientes cinco años, los precios de productos agrícolas y ganaderos mostrarán divergencias, lo que reflejará diferentes condiciones de suministro. Pero para un periodo mayor, de una década, el reporte anticipó que ocurrirá un incremento en los precios, tanto de los productos agrícolas como ganaderos. La variación, apuntó, será resultado de la combinación de un menor ritmo de producción y fuerte demanda, incluida la generada por los biocombustibles (Gonzales, 2013).

Así pues las investigaciones en transformación de materias primas vegetales y valorización de residuos a partir de vegetales son importantes por sus intereses para el consumo humano e industrial. La posibilidad de acelerar la descomposición de la materia orgánica mediante procesos biológicos y obtener un subproducto generador de bienestar integral que propenda por un desarrollo económico, social y ambiental es el objetivo de esta investigación, garantizar que toda esta masa vegetal, producto de las actividades industriales del hombre, no se desperdicie, convirtiéndose en un residuo inservible y contaminante: por lo que podría entonces considerarse el resultado de este biosistema un bien "ambiental - social", pues se procura la disminución de la cantidad de agroquímicos requeridos por los cultivos y se devuelve a la sociedad un bien que fue generado por ella, evitando el agotamiento del humus y tierras productivas.

Los hongos del genero *Pleurotus* tienen el potencial de transformar masivamente desechos orgánicos en alimentos de alto valor nutricional y medicinal, alimentos naturales, limpios y libres de químicos mientras proporcionan un alivio al medio ambiente, Los residuos de cosecha del cultivo de algodón, específicamente la cacota, constituyen una gran fuente de biomasa, la cual puede ser aprovechada como sustrato para producir proteína de gran calidad como lo son los hongos comestibles u Orellanas, aportando así la seguridad y autonomía alimentaria y desapareciendo esta como amenaza contaminante del medio circundante

Torres y Ríos, (2002) sustentan que los hongos por sus propiedades medicinales y comestibles deben ser cultivados con tecnologías sencillas de aislamiento y cultivo, así como identificar especies de la región que por su adaptación a la zona hagan más competitiva su producción y mercadeo.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Evaluar un Biosistema integrado para el aprovechamiento de la cacota de algodón en la producción de alimentos nutraceuticos, abonos orgánicos y depuración de aguas residuales.

3.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar físico-químicamente la cacota de algodón y proponer, de acuerdo a los requerimientos nutricionales de los hongos del género *Pleurotus*, las formulaciones para la producción de hongos comestibles.
2. Evaluar el impacto de la contaminación ambiental, en términos de DQO, debido a la mala disposición de la cacota de algodón.
3. Evaluar los rendimientos medios, la eficiencia biológica media y la precocidad de 4 especies de *Pleurotus* (*P. pulmonarius*, *P. sajor caju*, *P. florida* y *P. ostreatus*) sobre formulaciones de sustrato elaborado a base de cacota de algodón.
4. Evaluar el rendimiento medio y el tiempo de proceso en la transformación del sustrato agotado de los hongos en abono orgánico mediante la lombricultura.
5. Estimar el potencial del sustrato agotado como filtro depurador de las aguas residuales obtenidas en el proceso de fermentación de los sustratos, en la producción de hongos.
6. Proponer un modelo de Biosistema integrado para la cacota de algodón con base en el hongo de mejor rendimiento y en el mejor proceso de producción de abono orgánico.

4. Hipótesis

“Un biosistema integrado que involucre el cultivo del hongo *Pleurotus sajor caju* y la descomposición del sustrato agotado mediante lombricultura, es el que permite obtener los mejores rendimientos de proceso para el aprovechamiento de la cacota de algodón”

5. Marco Teórico

5.1. Marco contextual

(Saval, 2012) En el artículo “Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro”, afirma

Desde hace varias décadas los residuos agroindustriales han sido un foco de atención para varios investigadores a nivel mundial, debido a que parte de sus constituyentes pueden ser materia prima para generar diversos productos de interés, dice la autora que “esta situación sigue prevaleciendo en la actualidad y se prevé que continuará en el futuro.

Además plantea que es necesario ser responsables con el ambiente al dar una adecuada disposición final a los residuos evitando así que se conviertan en contaminantes.

Aunque en el año 2005, el Fondo de Fomento Algodonero, dio las recomendaciones para mitigar los impactos negativos identificados en el proceso productivo del cultivo, no se dice nada específico sobre el manejo de los desechos de este cultivo y su industrialización (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de la Republica de Colombia, 2005).

Por su parte Poppe en el libro “manual de cultivador de hongos”, citando a Hu, en el capítulo V, tema: sustratos, referencia a los residuos de algodón: “material caído del molino de algodón, celdillas de pelotas de algodón, cáscaras de algodón, residuos de las desmotadoras de algodón, cáscaras de la semilla del algodón, como el mejor sustrato para hongos del género *Volvariella*, usado solo o composteado en combinación con la paja de arroz” (Poppe, 2005).

Este capítulo menciona que el algodón también es un residuo productivo para hongos del género *Pleurotus*, simplemente humedeciéndolo, sin ningún tratamiento térmico (Poppe, 2005). El residuo del algodón contiene cantidades muy variables de nitrógeno total, desde 0,25 a 1,45% (Chang-Ho *et al.*, 1979, como se citó en Poppe, 2005, p. 86), y que el residuo de algodón tiene una eficiencia biológica de 56 - 86% para *Pleurotus*. (Khan *et al.*, 1981; Cho *et al.*, 1981, como se citó en Poppe, 2005) (Más de 50 autores).

En el mismo libro parte II, capítulo VII, tema: cultivo en bolsas, comenta que los residuos del algodón son un material de sustrato bueno para el cultivo de hongos y que este residuo de algodón es favorecido debido a que obtienen

rendimientos más altos que el aserrín. Por otro lado hace una aclaración en que el uso exclusivo de la cáscara de semillas de algodón no es recomendable debido a su baja capacidad de retención de humedad. La capacidad máxima de retención de agua de la cáscara de semillas de algodón es de aproximadamente 55-58%; por consiguiente los productores necesitan mezclarlo con otros materiales para lograr un mayor contenido de agua en el sustrato (Poppe, 2005).

En el artículo “Evaluación de algunos residuos orgánicos como sustrato para el cultivo de hongos comestibles”, los autores evaluaron los residuos de jardín, como sustrato para la producción de dos especies de hongos del género *Pleurotus*, *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* y estandarizar la producción de semilla. Se prepararon dos tratamientos, el primero estaba compuesto por 60% de pasto kikuyo, 30% de maní forrajero y 10% de vaina de frijol. El segundo tratamiento contenía un 60% de pasto kikuyo, 10% de maní forrajero, 10 de vaina de frijol y 20% de cascarilla de algodón. De acuerdo al análisis estadístico el tratamiento dos fue el que mayor rendimiento produjo, teniendo este un porcentaje importante de cascarilla de algodón, la cual aporta principalmente hemicelulosa y lignina al sustrato, favoreciendo el crecimiento de este tipo de setas que son principalmente lignocelulósicas, Como conclusión se obtuvo que las materias primas empleadas son viables para producción a escala de ambos tipos de hongos comestibles, y que el mejor sustrato para el cultivo de este tipo de setas es aquel que contiene un porcentaje mayor de residuos lignocelulosicos. (Garcés et al., 2006).

A su vez la utilización de sustratos agotados en la producción de hongos empieza a tener relevancia si lo que se quiere es cerrar el ciclo de la materia. Como puede observarse en el trabajo, “Biotransformación de Residuos Lignocelulosicos con Hongos *Pleurotus*”, donde se comenta que a través de un procedimiento sencillo de bio-transformación empleando cepas del género *Pleurotus*, se obtiene un sustrato residual para utilizar como alimento animal (Arias et al., 2005).

La investigación empleo como sustrato los residuos cañeros de centros de acopio y de limpieza de cuba, mediante fermentación en fase sólida y la producción de carpóforos de hongos del género *Pleurotus*, obteniendo como resultado disminuciones en el pH, incremento en el contenido de cenizas, proteína entre otros, permitiendo concluir que “*la biodegradación de residuos lignocelulósicos mediante cultivo de hongos Pleurotus constituye una fuente potencial de sustratos mejorados para su empleo como forrajes en alimento animal y de producción de carpóforos.* (Arias et al., 2005)

La tesis doctoral “Empleo de los sustratos residuales del cultivo de hongos comestibles como fertilizante orgánico y como medio de cultivo sin suelo” exponen que el sustrato residual de la producción de hongos crea problemas

medioambientales, aludiendo que por cada kilo de hongo producido se generan aproximadamente unos cinco kilos de sustrato residual (Medina, 2012). Argumentan que a esta gran generación de residuo se une el problema de su almacenamiento y gestión debido al marcado carácter estacional al que está ligado a este sector.

(Rodríguez & Preston, 1998), presentaron un Biosistema integrado, de yuca-ganadería-biodigestor-lenteja de agua, que sólo requiere 108 m² de espacio de tierra para levantar 4 cerdas Mong Cai y producir alimento suplementario. Cada cerda se alimenta con pienso basal (400 g/día de soja hervida, semilla de frijol, cal, sal y 500 g/día espinaca de agua) con jugo de azúcar de palma y de cualquier otro tipo de vegetación o la raíz del cultivo que está disponible. El estiércol alimenta a un digestor de biogás y el efluente entra en ocho estanques de lenteja de agua de 7 m² cada uno (total de 56 m²). Rendimiento de la lenteja de agua (peso fresco) es de 100 g / m² / día, con un 6% de la materia seca y proteína cruda 35%. 5,6 Kg lenteja de agua / día es, por tanto, todos los días. Ganancias de peso vivo de los cerdos osciló 350-450 g / día. Los árboles de la yuca crecen en gran medida fertilizado con abono orgánico y lodos de los estanques de lenteja de agua y puede producir alrededor de 1 kg de hojas / m² cada 2 meses. Esto equivale a un rendimiento anual de hasta 60 toneladas hojas / ha (Preston *et al.*, 1998). El contenido de materia seca es de alrededor de 25% y el contenido de proteína de la materia seca es del 25% (Nguyen y. Rodríguez 1998). De hojas de yuca puede contener un alto contenido de HCN y es ensilado anaeróbicamente con 5% de melaza usando una bolsa de plástico (Nguyen *et al.*, 1998) durante 6 semanas y luego se alimentó directamente a los cerdos.

En relación con todo lo anterior, parece viable tanto a nivel económico como medioambiental el reciclaje de los sustratos de residuo del cultivo de hongos comestibles como ingrediente de los sustratos de cultivo sin suelo, recuperándose y aprovechándose así la materia orgánica y los nutrientes contenidos en dichos residuos, y además contribuyendo al ahorro de turba.²

5.2. Los Bio-sistemas integrados

Los sistemas de producción de alimentos naturales son limitados por su baja productividad por unidad de tierra o en el espacio de agua. Hay una urgente necesidad de producir más de un espacio de unidad para poder alimentar a más

² No existen datos de resultados publicados, aunque la tesis doctoral esta reportada en la dirección electrónica, <http://retos-aaa.edu.umh.es/investigacion/tesis-doctorales/>, con fecha 2012, la información aquí reportada fue tomada de un fragmento publicado en <http://www.triptolemos.org/catalogo/tesis/empleo-de-los-sustratos-residuales-del-cultivo-de-hongos-comestibles-como-fertilizante-org%C3%A1nic>.

personas a causa de la falta de control de la población humana que ya ha dado lugar a consecuencias desastrosas en muchos países. (Foo, 2000)

Khosla, 2000, citado por foo, comenta que en la India, por ejemplo, la población humana entre 1940 a 2000 aumentó de 400 millones a más de 1,2 mil millones. En consecuencia, la producción de cereales aumentó 4 veces a partir de 50 millones de toneladas a 200 millones de toneladas entre 1950 y 2000. Sin embargo, el consumo sobre una base per cápita aumentó ligeramente a 435 gm cereales por día de 400 g en 1950.

De aquí que los autores han tenido en cuenta que para el 2025, el 50% de la población mundial vivirá en ciudades y esto agravará aún más la situación alimentaria y de recursos como la mayor parte de la población mundial será consumidores en lugar de productores de alimentos primarios. Muchos países saben que necesitan para producir o importar 2 o 3 veces más alimentos con el fin de hacer frente a sus necesidades locales y los pobres le resultará aún más difícil para poner comida en su mesa de comedor.

Con estas primicias y convencidos de hacer uso racional de los recursos naturales aparece el término de Biosistemas integrados, y se define como:

Aquellos que unen dos o más sistemas biológicos para transformar los residuos orgánicos en productos de valor agregado, mediante la utilización de procesos que involucran microorganismos, organismos mayores, animales y plantas, en ellos se cumple que los productos de salida de uno de los procesos se convierte en la materia prima para el inicio del siguiente o de los siguientes procesos.³

(Serna et al., 2010) en su publicación “*Biosistemas integrados y sus interrelaciones con el desarrollo sostenible y el desarrollo humano y social*”, sostiene que es importante explorar un campo del conocimiento que hasta el momento poco se ha tenido en cuenta, cual es el de estudiar las relaciones existentes entre la teoría de los Biosistemas Integrados, sus relaciones prácticas, y las articulaciones con el pensamiento ambiental de nuestro tiempo, y el desarrollo social y humano.

5.2.1. Elementos constitutivos de los Biosistemas

Entre los elementos constitutivos de los Biosistemas se encuentran: (Jaramillo, 2005).

³ Definido en material de apoyo “Introducción al manejo integrado del medio ambiente. Maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente.

- *Sustancias inorgánicas: Intervienen en los ciclos de materiales (carbono, nitrógeno, dióxido de carbono, agua).*
- *Compuestos orgánicos: Relacionan los componentes de origen biótico con los componentes no bióticos (proteínas, hidratos de carbono, lípidos, compuestos húmicos, etc.).*
- *Elementos climáticos: Radiación solar, precipitación, temperatura, humedad atmosférica, viento.*
- *Productores: Organismos autótrofos, en su mayoría vegetales superiores capaces de realizar fotosíntesis.*
- *Consumidores: Organismos heterótrofos especialmente animales fitófagos o zoófagos que ingieren materia orgánica de diverso origen.*
- *Desintegradores: Organismos heterótrofos, fundamentalmente bacterias y hongos, que degradan los compuestos complejos producidos durante el metabolismo, absorben algunos de los productos de descomposición y liberan sustancias simples susceptibles de ser utilizadas por los productores. Las sustancias orgánicas absorbidas son Fuentes de energía o pueden ser inhibidoras o estimulantes para algunos de los componentes vivos del ecosistema.*

Los Biosistemas se relacionan directamente con el término de biomasa, al incluirse esta como la fuente de energía, ya que “Se considera biomasa a un grupo de productos energéticos y materia primas de tipo renovable que se originan a partir de materia orgánica formada por vía biológica”, (www.plntasdebiomasa.net, s.f.). Esta energía lumínica transformada por la fotosíntesis en energía, lo que le da a la biomasa la característica de ser renovable a que sus materias primas consumidas son renovables. (Ballesteros, 1998).

Los Biosistemas integrados hacen conexiones funcionales entre la agricultura, la acuicultura, la transformación de los alimentos, la gestión de los desechos, el uso del agua y la generación de combustible. Favorecen los flujos dinámicos del material y la energía, tratando las pérdidas y subproductos de una operación como entradas para otra. De esta manera, los alimentos para animales, los fertilizantes y los combustibles, se pueden producir con entrada mínima de recursos. (Warburton, 2002).

Cinco son los principales elementos que deben incluir los diseños de producción sostenible, intrínsecas a los biosistemas integrados: 1) Reducir al máximo las entradas de recursos, volviendo a dirigir las salidas inútiles dentro del sistema. 2) Contener los flujos de materiales dentro del sistema.

3) *Tratar la producción y el consumo como un proceso cíclico, más que lineal.* 4) *Acortar distancias entre producción y consumo para reducir al mínimo las pérdidas, los costos de transporte, etc.* y 5) *Maximizar la eficacia de los procesos naturales de la conversión (por ejemplo. Descomposición microbiana) y de la retención del alimento y el agua.* (Warburton, 2002).

Las Industrias de transformación agroalimentaria y comercialización de cosechas utilizan una pequeña fracción de la biomasa primaria generada. Sánchez, (1995). Estima que un 75 a un 80% de lo producido en la agricultura se queda en subproductos, los que se pueden aprovechar como fuente de alimento para animales, para humanos, producción de energía y fertilizantes.

Existen varias investigaciones y proyectos que ponen de manifiesto la eficacia de la integración de sistemas biológicos y han logrado captar el interés como alternativas hacia una nueva economía, pues *“la conversión de residuos domésticos, agrícolas y subproductos agroindustriales en productos de valor agregado proporcionan una única estrategia para crear un ambiente ecológico y saludable, a la vez que generan ingresos y empleo para la comunidad”*.⁴

El centro nacional de investigaciones de café, Cenicafé, ha desarrollado una metodología para el beneficio ecológico del café, la cual reduce la contaminación a las fuentes hídricas por los residuos del beneficio del café y aprovecha los subproductos como sustrato para el cultivo de hongos de los géneros *Pleurotus*, *Lentinula*, entre otros, así como la Lombricultura.⁵

*En china utilizando el concepto de Biosistemas integrados desde hace 500 años, alcanzan producciones de 15 ton/ha., y su alta productividad se debe a: 1. Los estanques son de hasta 3m de profundidad y utilizan todos los niveles tróficos para el desarrollo del alimento y del cultivo de peces, 2. Los nutrientes son principalmente alimento, que luego alimenta a los peces, y 3. El cultivo de peces es cuidadosamente establecido combinando peces que consumen diferentes alimentos (pasto, fito y zooplancton, macrofitas, halofitas, crustáceos..) que son abundantes a diferentes profundidades del estanque (Chan, 1999; Pauli, 2000)*⁶

⁴ Tomado de cedum.umanizales.edu.co

⁵ Rodríguez V. Nelson. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. Seminario internacional gestión integral de residuos sólidos y peligrosos, siglo XXI.

⁶ Citado por Ricardo Álvarez león, presentación en Prezi “los Biosistemas integrados a la realidad de las zonas costeras colombianas”. en <https://prezi.com/l-7iec1skyhu/untitled-prezi/>

5.2.2. Biosistemas integrados y el desarrollo sostenible.

(Foo, 2000), en su documento “Integrated Bio-Systems: Una Perspectiva Global” es consecuente con que el enfoque integrado Bio-Systems (IBS) sigue tres principios básicos. El primer principio es el uso de todos los materiales y desechos orgánicos biológicamente en vez de desecharlos. El segundo principio es el de obtener al menos dos productos a partir de un residuo. El tercer principio es cerrar el ciclo para el flujo de materiales y nutrientes con el fin de lograr un uso total de un recurso y tener cero residuos.

El enfoque bio-sistemas integrados es una herramienta multiusos que puede mejorar la utilización de los recursos y minimizar los insumos externos en los procesos productivos, fortalecer las economías locales para la producción de alimentos, permitir la gestión de residuos sólidos y líquidos productiva, así como crear medios de vida y comunidades sostenibles. (Foo, 2000).

Aunque esta herramienta es a menudo laboriosa, es ideal para las pequeñas explotaciones que son operados por los hogares individuales. Las grandes explotaciones que generan grandes volúmenes de material necesitarán algún tipo de mecanización o trabajadores. Los tabúes socioculturales y estilos de vida modernos no aceptan el uso de ciertos materiales de desecho es también un factor importante, sobre todo cuando se trata de la utilización de algunos organismos/animales y excrementos de origen animal y humano.

Por su parte presiones y costos en la incineración o el depósito en vertederos ambientales son los principales motores que exigen el cambio desde el modelo lineal para la producción y gestión de residuos a un enfoque más integrado con la reestructuración ecológica para que los desechos se utilicen como recursos para generar ingresos o ahorros. Al mismo tiempo, también debe contribuir al desarrollo sostenible de una manera ambientalmente más racional. Este desafío está allanando el camino a la renovación de las prácticas tradicionales y las nuevas oportunidades para aplicar el enfoque bio-sistemas integrados a pequeña escala y los Biosistemas integrados a escala comercial e industrial.

Pauli, (2000) afirma que los Biosistemas integrados se hacen económicamente viables y ecológicamente sostenibles dependiendo de la flora y fauna, de la energía solar y los gases atmosféricos, los cuales abundan y son gratuitos en los trópicos y subtropicos durante todo el año. Un Biosistema integrado no permite la contaminación del ambiente si no que se transforma en nueva energía aprovechable, por lo tanto se constituyen en un modelo de producción mucho más racional, mirado desde sus efectos sobre el medio ambiente. La premisa

básica es una producción no contaminante, que no desperdicie recursos, que no contribuya al calentamiento global y que además, sea económicamente rentable.

5.3. Generalidades del cultivo de algodón

El algodón es un cultivo propio de los climas cálidos, por lo que su buen desarrollo lo alcanza a los 30 grados centígrados. Entre latitudes de 0 a 500 metros sobre el nivel del mar. Requiere de suelos con buena aireación, adecuada retención de agua y ricos en materia orgánica. (Usach & Bencardini, 2005)

El algodón es la fibra más consumida y cultivada a nivel mundial, representa la mitad del área del total de cultivos no destinados a la alimentación (33 millones de hectáreas), es una planta de doble utilidad aunque su principal uso es la fibra los derivados de la semilla son muy apetecidos como alimento para animales, ya que contiene un 24% de proteína y 15% de aceite, este último utilizado también en la elaboración de margarinas, aceites comestibles, jabones, pinturas, etc. La cascara de la semilla que representa un 40% se emplea como fertilizante o pienso. (Martinez, 2000)

(Augstburger et al., 2000) Refiere que un rendimiento por unidad de superficie de 1.000 kg de algodón por ha se distribuye aproximadamente en:

420 Kg de fibra (algodón en rama), 200 Kg de torta de harina o de algodón, 100 kg de aceite, 200 kg de cascara, 20 kg de semilla de reserva, 40 kg de impurezas.

Su principal uso es la fibra para la producción de textiles, los filamentos más cortos se destinan a la obtención de fibras de celulosa, cuerdas gruesas, materiales de relleno y fabricación de papel. Por su parte las semillas la usan como aceite comestible y forraje para animales, también como abono o como combustible. (Augstburger et al., 2000)

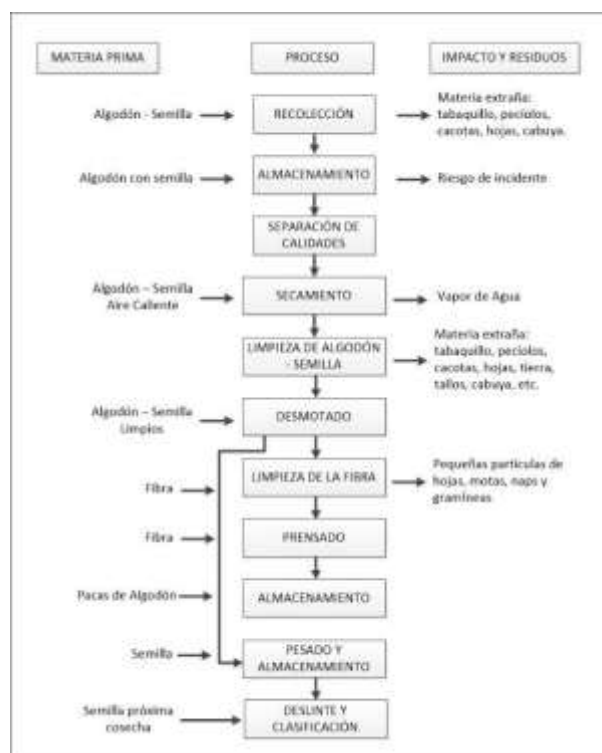
5.3.1. El cultivo del algodón y el medio ambiente.

El algodón se constituye como uno de los cultivos de mayor tradición en Colombia, por sus altos rendimientos, costos de producción y calidad de la fibra, pero su sensibilidad a las plagas demanda cantidades de agroquímicos que contaminan al ambiente y conllevan a un riesgo de resistencia de la plaga a los productos. En el marco de “Política Ambiental Nacional de Producción Más Limpia”, El Ministerio del medio ambiente y la Sociedad de Agricultores de Colombia, SAC, suscribieron un convenio de cooperación con el objeto de

elaborar un conjunto de guías ambientales para diversos subsectores agropecuarios.⁷

La (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.1) muestra el flujo de impactos ambientales que se da en el proceso de poscosecha del algodón, teniendo en cuenta que hay unas entradas (Materia prima) y unas salidas (residuos), quedando estos últimos sin aprovechamiento para cerrar el ciclo de la materia en procura de un Biosistema.

Imagen 1: Impacto ambientales del proceso de pos-cosecha o beneficio del algodón.

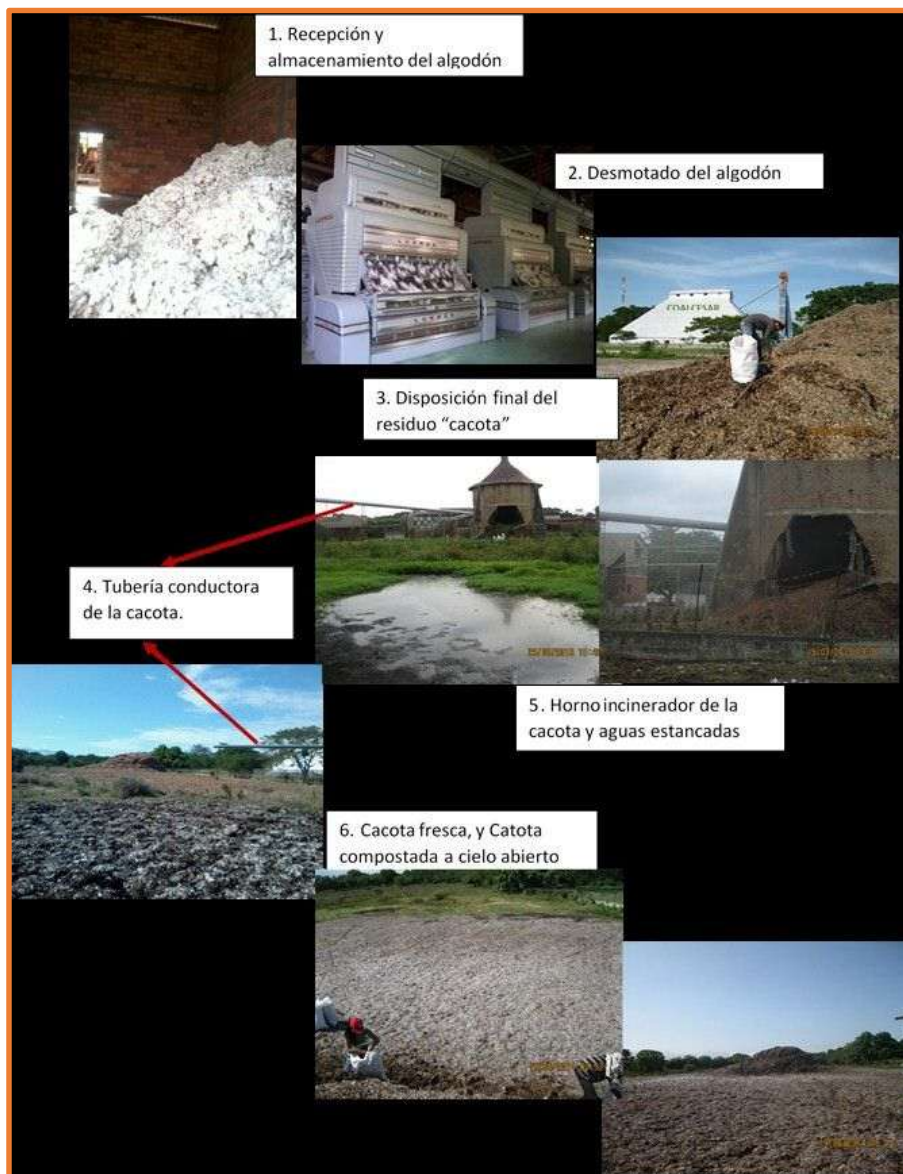


Fuente: Guía ambiental para el subsector del algodón

La cooperativa de algodoneiros, Coalcesar ubicada en el municipio de Aguachica, desarrolla en su planta el proceso de desmotado del algodón, el cual es transportado a las diferentes industrias del país para continuar con un último tratamiento, el deshilado. El proceso de desmotado genera algunos impactos ilustrados. (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 2)

Imagen 2: Desmote del algodón planta industrial Coalcesar.

⁷ Publicado por: Francisco M. Negrete Barón. José G. Morales Angulo. Luis F. Martínez Ramos. "Buenas prácticas para el cultivo del algodón en el departamento de Córdoba". Boletín técnico. Corpoica. 2009



Fuente: La autora.

La imagen anterior registra un primer momento de recepción y almacenamiento de la fibra producida en la región, seguidamente las motas de algodón son incorporadas a las máquinas desmotadoras para separar la fibra, de la semilla, bracteas, pedunculos entre otras estructuras, los cuales tratados como residuos son dirigidos por tuberías ventiladas hacia un sitio de disposición final a cielo abierto y a un horno incinerador, lo que trae como consecuencia cambios en el uso del suelo, represión de aguas de escorrentías, pérdida de biomasa, emisiones de dióxido de Carbono, entre otros impactos ambientales.

5.3.2. Composición química de los residuos de algodón.

El residuo que se genera durante el desmotado (separar las fibras del algodón crudo) se basa fundamentalmente en restos de semillas de la planta y de

pequeños restos de fibra, por lo que la composición agroquímica es muy similar al mismo algodón. (Imagen 3).

Imagen 3: caracterización agroquímica de restos de algodón.

Parámetros ¹	Residuos de Algodón
Humedad (%)	8,5
pH ²	7,1
Conductividad eléctrica [S m ⁻²]	0,41
MO (%)	82,8
Celulosa (%)	40
Hemicelulosa (%)	23
Lignina (%)	23
C _{tot} (g kg ⁻¹)	422,8
N _t (g kg ⁻¹)	21,0
N-NH ₄ (mg kg ⁻¹)	530
Relación C _{tot} /N _t	20,1
P(g kg ⁻¹)	1,8
K(g kg ⁻¹)	17,4
Ca(%)	2,30
Mg(%)	0,42
Na(%)	0,14
Fe(mg kg ⁻¹)	1710
Cu(mg kg ⁻¹)	12
Mn(mg kg ⁻¹)	108
Zn(mg kg ⁻¹)	40

Fuente: <http://www.compostandociencia.com/2014/12/residuos-de-algodon/>

La imagen describe la composición química de los residuos de algodón, los que se caracterizan por tener un bajo contenido en humedad y un alto contenido en materia orgánica, especialmente celulosa. Tiene una estructura física que lo hace ideal para usarse como agente absorbente o agente estructurante al mezclarlo con otro residuo con alta humedad. Ideal para compostaje de residuos muy líquidos. (www.compostandociencia.com, 2014)

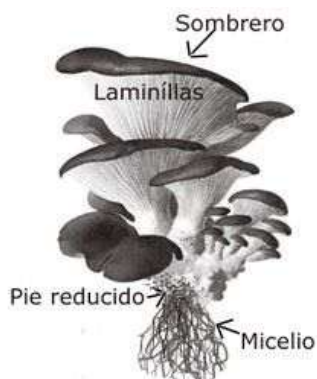
5.4. Generalidades de los Hongos

El reino de los hongos es uno de los grupos de organismos más diversos de la tierra, según estudios de la universidad de Tartu (Estonia), se han descrito ms de 80.000 nuevas especies (Agencia SINC), para el caso de macro hongos a nivel mundial se han descrito 21.679 especies de las 53.000 y 110.000 especies que se creen puedan haber. (Mueller et al. 2007).

La principal características de los hongos setas es que estos se desarrollan sobre troncos en descomposición u otros substratos vegetales. Cada hongo está formado por una serie de finos filamentos llamados hifas, que en conjunto forman lo que se denomina micelio. En la naturaleza y

bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, este micelio extendido sobre un substrato adecuado, se transforma en pequeños grumos que van aumentando de tamaño hasta formar la típica seta. El hongo formado con su sombrero y su pie, tiene la función de producir las estructuras de reproducción llamadas esporas cuya misión es perpetuar la especie. Estas esporas se forman en la cara inferior del sombrero, en unas laminillas verticales que se extienden desde la parte superior del pie hasta el borde del sombrero, de hecho a este hongo técnicamente se le llama *Pleurotus*, término que deriva del griego pleurá o pleurón, costado o lado y del latín otus, oreja. Un hongo o cuerpo fructífero representa para el micelio lo que un fruto para un árbol. (Gaitan, 2006)(Imagen 4)

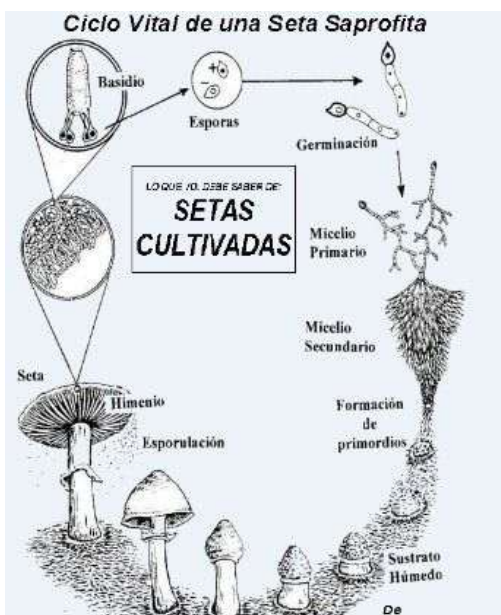
Imagen 4: Morfología de los hongos setas.



Fuente:<http://los-invernaderos.blogspot.com.co/2010/09/el-cultivo-del-hongo-seta-pleurotus.html>

La materia orgánica es el principal alimento de los hongos setas, estos segregan enzimas que la descomponen en moléculas más simples, las que aprovechan las hifas del micelio en condiciones de humedad, oxígeno y luz adecuadas, siendo estos los factores a manejar en el cultivo de setas, “*El conocer el desarrollo de un hongo en la naturaleza y entender su ciclo de vida nos dará el conocimiento para poder manipularlo y producirlo en condiciones artificiales de cultivo*”. (Gaitan, 2006) (Imagen 5)

Imagen 5: Ciclo reproducción de un hongo Seta.



Los hongos reciclan desechos orgánicos y devuelven al medio ambiente elementos y sustancias asimilables por otros seres vivos, por lo que influyen en el mantenimiento de los bosques al intervenir en los ciclos geoquímicos permitiendo el flujo de energía y nutrientes a través de los ecosistemas naturales. (www.inbio.ac.cr, s.f.).

Los hongos tienen una rigurosa forma de nutrición característica y altamente exitosa. Requiere de compuestos orgánicos preformados como fuente de energía y de carbono para la biosíntesis. Las moléculas orgánicas más simples como los monosacáridos, aminoácidos y ácidos orgánicos, se obtienen a través de la membrana celular. Sin embargo, las moléculas más complejas que incluyan quizás muchos disacáridos, deben degradarse a monómeros en el exterior de la célula por medio de enzimas liberadas a través de las paredes unidas a estas. (Garraway & Evans 1991)⁸

Filogenéticamente hablando se conocen tres grupos: mohos u hongos filamentosos, las levaduras y las setas, Según el sustrato podrían clasificarse en:

Si viven sobre materia orgánica en descomposición: son los denominados hongos Saprofitos. Vivir a costa de otros seres vivos a los que utiliza, son hongos Parásitos y asociarse con otro ser vivo para un beneficio mutuo es un hongo Simbionte.

⁸ Citado por Carranza 2006 en: http://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icap/licenciatura/documentos/Seleccion%20e%20identificacion%20de%20especies.pdf

5.4.1. Cultivo de hongos comestibles

La mayoría de los hongos comestibles saprófitos, descomponen-madera, los hongos saprófitos son los recicladores de primera clase en el planeta. La red de micelios filamentosos está diseñada para tejer entre y a través de las paredes celulares de las plantas. Todos los ecosistemas dependen de la capacidad de los hongos de descomponer la materia orgánica vegetal, poco después se vuelven disponibles. El resultado final de su actividad es el regreso del carbono, hidrógeno, nitrógeno, y minerales de nuevo al ecosistema en una forma utilizable para las plantas, insectos y otros organismos. (www.cultivandohongos.blogspot.com.co, s.f.)

La demanda acelerada de alimentos conlleva a considerar a los hongos como una alternativa proteica económica, ya que su cultivo no requiere de altas inversiones iniciales, genera empleo y aprovecha residuos agrícolas. (ALIMÉNTICA 5)

El valor nutricional de los hongos comestibles es notable, ya que constituyen una magnífica fuente de proteínas por contener hasta 35% en base seca, Este dato es significativo si se compara con el 13.2% del trigo y 25.2% de la leche. Además, contienen vitaminas como la B1, B2, B12, C, D, niacina y ácido pantoténico, así como ácidos grasos insaturados y un bajo contenido calórico. (ALIMÉNTICA 5)

5.4.2. Protocolo para cultivar hongos comestibles

El cultivo de hongos del género *Pleurotus* requiere de varias etapas y de acuerdo a (Rodríguez, 1999), (Sánchez y Royce 2001), se resumen en los siguientes enunciados.

1. Producción de la semilla. Es necesario conocer las condiciones ambientales óptimas para el crecimiento micelial del hongo y sus necesidades nutricionales, para seleccionar el medio nutritivo adecuado.
2. Preparación del sustrato. Con base en las necesidades nutricionales del hongo, se le debe proveer el sustrato apropiado, lo que en la mayoría de los casos requiere la utilización y mezcla de varios materiales y su adecuación tanto en el tamaño de partícula como en el pH y en el porcentaje de humedad.
3. Inoculación. Consiste en la mezcla del sustrato con la semilla del hongo de interés.
4. Incubación. Consiste en permitir el crecimiento del micelio sobre el sustrato, lo que exige que se conozcan las condiciones de desarrollo del micelio, como son

la temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO₂, entre otros parámetros.

5. Fructificación. Consiste en permitir el crecimiento del cuerpo reproductor sobre el sustrato, lo que exige que se conozcan las condiciones de desarrollo del cuerpo reproductor, como son la temperatura, la humedad relativa, la concentración de CO₂, y la luminosidad, entre otros parámetros.

6. Cosecha. Consiste en la separación del cuerpo reproductor del sustrato, lo que exige que se conozcan los diferentes estadios de desarrollo del cuerpo reproductor, con el fin de cosecharlo en el momento de su madurez.

5.4.3. Descripción de algunas especies del genero *Pleurotus*

Se registran aproximadamente 70 especies de *Pleurotus* y cada día se descubren nuevas especies, con mayor o menor frecuencia, aunque algunas de estas son consideradas idénticas debido a sus similitudes morfológicas y a los posibles efectos ambientales en la morfología de los hongos. La especie es bastante adaptable a un rango de climas y materiales de sustrato, convirtiéndose en el segundo hongo más comúnmente producido en el mundo, luego del hongo champiñón. (Kong, 2005). Para efectos de esta investigación referenciamos algunos aspectos de los implicados en dicho proyecto.

□ *Pleurotus ostreatus*

La palabra Pleurotus viene del griego “pleuro”, que significa formado lateralmente o en posición lateral, refiriéndose a la posición del estípite al píleo. La palabra ostreatus en latín quiere decir en forma de ostra y este caso se refiere a la apariencia y al color del cuerpo fructífero (Stamets, 2000)⁹

Clasificación y morfología:

El P. ostreatus se encuentra clasificado taxonómicamente así: (Imagen 6)

Reino: Fungi

Subreino: Fungi superior

División: Basidiomycota

Subdivisión: Basidiomycota

Clase: Himenomycetes

Orden Agaricales

Familia Tricholomataceae

Genero Pleurotus

Especie Ostreatus.

⁹ Citado por Hernández Ricardo y López Claudia en el documento Pdf “Evaluación del crecimiento y evaluación de *Pleurotus Ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. En: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/8275/1/tesis257.pdf>

Imagen 6: morfología del *Pleurotus ostreatus*



Fuente: <http://implecultivo.blogspot.com.co>

“Es el hongo comercial más importante dentro del género. *Pleurotus*, es un hongo destructor de madera, esta difundido en áreas templadas y forma cuerpos fructíferos a temperaturas relativamente frescas, 10-17 °C, comparadas con otras especies de *Pleurotus*”. (Kong, 2005).

Pleurotus ostreatus, posee un píleo regularmente de 4 a 13 cm de diámetro, aunque ocasionalmente puede presentar tamaños mayores de acuerdo a las condiciones de fructificación. La superficie superior puede presentar color variable según intensidad de la luz, con tonos entre blanquecinos, grises o azulados, su margen es suave, delgado, ondulado y ocasionalmente enrollado” (Stamets, 2000; Cardona y Bedoya, 1996, citado por Hernández y López, 2004)

Considerado como uno de los más nutricionales, dado su alto contenido en proteína y aminoácidos esenciales, también ofrece otras propiedades importantes como bajos contenidos de grasa (en su mayoría insaturados) y sodio y altos contenidos de Potasio. (Tabla 1). (www.setascolombia.webnode.com, s.f.)

Tabla 1: Contenidos nutricionales de *Pleurotus ostreatus*

Proteína bruta entre	26 % y 34 %
Proteína verdadera	≈ 18 %
Carbohidratos	48.9 %
Grasa	2,2 %
Valor energético	350 cal/Kg
Riboflavina	4.7 mg/100gr
Niacina	108.7

Tiamina	4.8
---------	-----

Fuente: <http://setascolombia.webnode.com.co/news/propiedades-nutricionales-de-las-orellanas/>

❑ *Pleurotus Florida*

Pleurotus florida está difundido en zonas templadas, subtropicales y tropicales, generalmente se le considera como una subespecie de *P. ostreatus*, a pesar de su morfología y fisiología son diferentes aunque algunos micólogos se inclinan a considerarlo otra especie de color diferente y con diferentes requisitos de temperatura.¹⁰ (Kong, 2005). (Imagen 7)

Imagen 7: *Pleurotus florida*.



Fuente: http://www.alibaba.com/product-detail/Pleurotus-Florida_124439167.html

Chapter (2005), reporta que “*las temperaturas óptimas de crecimiento para el P. florida se encuentran entre 25 y 30 grados centígrados y aunque los cambios abruptos de temperatura, induce a la fructificación para la mayoría de los hongos, la fructificación de P. florida, P. sajor- caju, son menos afectados por estos cambios, siendo 15 a 25 grados la temperatura óptima para la producción de P. florida y P. sajor caju*”.

A temperaturas bajas, el color de los sombreros es ligeramente marrón. Pero se van tornando pálidos con el aumento de la temperatura. Podría cosecharse a temperaturas más cálidas, dado que su rango de temperatura de fructificación es más amplio que el de otros hongos y no requiere inducción a la fructificación

¹⁰ Manual del cultivador del hongo, capítulo 4, parte II descripción de especies de *Pleurotus* de importancia comercial.

(choque frío) además, tiene el mayor rendimiento entre las especies de *Pleurotus*. (Kong, 2005). Leong (1982), reporta una eficiencia biológica de 63,5% en residuos de algodón para el *P. florida*.

El crecimiento del micelio de *P. ostreatus* y *P. florida* se estimula a altas concentraciones de CO₂ del ambiente en el cuarto de crecimiento, se debe controlar por ventilación, sobre todo durante la formación y desarrollo del cuerpo de fructificación. En cuanto a los métodos de cultivo apropiados cambian según la variedad, para cultivar *P. florida*, *P. sajor caju* es apropiado en estantes y cajas.

□ *Pleurotus sajor-caju*

Sajor caju se consigue silvestremente en regiones subtropicales y tropicales como India, lo que hace su cultivo apropiado en estas, pues su rango de temperatura óptima para el desarrollo de cuerpos fructíferos es relativamente alto, 18-25°C. (Kong, 2005). (Imagen 8)

Imagen 8: *Pleurotus sajor caju*.



http://about-chinesefood.com/cookbook_material/pleurotus-sajor-caju-618/

Pani *et al.*, 1998, citado por Chapter, menciona que en India, en residuos de la cosecha de Brassica, los rendimientos más altos se obtuvieron para *P sajor caju*. Otros residuos como las cáscaras de maní también fueron usadas con éxito. Los tallos de sorgo, de soya y de ajonjolí, en la India, se utilizaron como sustrato satisfactorio para esta especie con eficiencia biológica del 60%.

Rodríguez y Jaramillo (2005), reportan valores de proteína cruda digestible del orden del 27% para *P. florida*, entre el 10,5 al 30,4% para *P. ostreatus* y del 26,6% para *P. sajor-caju*, dependiendo de las condiciones de cultivo.

□ *Pleurotus pulmonarius*

El hábitat común del pulmonarius son los troncos y ramas caídas en los bosques, por su acción saprofita es un eficiente regenerador del bosque. Como cultivo intensivo es muy promisorio dada su excelente comercialización en atención al alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales, especial para dietas bajas en calorías. (Asociación cultural "Baxauri" Kultur elkarte. Mikologia. Bajauri., 2015)

Descripción macroscópica: "sombrero hasta 15-18, aplanado o deprimido, en forma de concha o abanico, cutícula de color variable, de blanco a pardo más o menos claro, laminas blancas, decurrentes y prietas. Pie muy corto aunque evidente, excéntrico. Carne blanca, densa. Aroma fúngico muy particular". (Bajauri. 2015). (Imagen 9)

Imagen 9: *Pleurotus pulmonarius*.



Fuente: <http://www.fichasmicologicas.com/?micos=1&alf=P&art=163>

Las características del micelio de *P. pulmonarius* son: es blanco, lineal, algodonoso, formando una gruesa capa. Si los cultivos en agar o en grano no se transfieren de manera oportuna (es decir, dentro de dos semanas), el micelio se vuelve muy denso, siendo difícil hacer inoculaciones por su resistencia al corte.

(Kuo, 2009)¹¹ describe que la diferenciación de *P. pulmonarius* del hongo ostra, *P. ostreatus*, se basa en los tres "conceptos de especie" más comúnmente aplicado a los hongos. *P. pulmonarius* representa una especie morfológica bastante distinta, ya que es más pálida (y frecuentemente menor) que *P. ostreatus* y aparece para desarrollar más de un vástago. Las pruebas de ADN

¹¹ Disponible en: (www.mushroomexpert.com/pleurotus_pulmonarius.html). Kuo, M. (2009, April). Pleurotus pulmonarius: The summer oyster. Retrieved from the MushroomExpert.Com Web site: http://www.mushroomexpert.com/pleurotus_pulmonarius.html

apoya a *P. pulmonarius* como especie filogenética y hay una diferencia ecológica: aparece en un clima más cálido que *P. ostreatus*.

De igual forma en (www.shroomery.org), se refiere a los estudios realizados por Vilgalys, en los que expresa que *P. pulmonarius* es prácticamente indistinguible de *P. ostreatus*, y difiere en gran medida en su preferencia de hábitat de bosques de coníferas. En el oeste de Estados Unidos, *P. pulmonarius* se encuentra generalmente en altitudes más altas que *P. ostreatus* que prefiere las tierras bajas, valles de los ríos. *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* crecen en una variedad de maderas duras, con *P. pulmonarius* principalmente una seta de primavera y *P. ostreatus* creciente más prevalentemente en el verano a otoño. Las colecciones de América del Norte, muestran una mayor variedad en el color de las colecciones europeas. *P. pulmonarius* alberga un gran complejo de variedades, ofreciendo a los cultivadores un rico recurso para nuevas cepas.

Los materiales de sustrato con mayores rendimientos para *P. pulmonarius* son los residuos de cereales (trigo, arroz), pajas, virutas de madera, tallos de maíz, bagazo de caña de azúcar, residuos de café, lodos de la planta de celulosa, desechos de algodón, y numerosos otros residuos agrícolas y subproductos forestales, con buenos potenciales de eficiencia biológica. (www.shroomery.org)

5.4.4. Perspectiva económica de los hongos

La dieta de la tercera parte de la población mundial es deficiente en proteína los hongos setas constituyen alimentos saludables por su alto valor nutritivo dada la calidad de su proteína, presencia de vitaminas y otros macro y microelementos, Torres y otros (2002c), Cardona (2001); países como Japón, China, demandan la producción de algunas de estas setas que por razones de espacio y factores climatológicos son producidas a un muy alto costo.

Por su parte la International Society for Mushroom Science de Inglaterra, afirma que “en el mundo se consumen alrededor de 25 millones de toneladas de hongos de 30 especies diferentes”, y que con la superpoblación, la consecuente demanda de alimentos y un mayor conocimiento de las propiedades de los hongos (medicinales y alimenticios) las cifras tendrán que elevarse. (Gaitán, 2006).

Los países tropicales han iniciado la valoración y cultivo en desechos agroindustriales de un sinnúmero de hongos de valor comestible y medicinal Guzmán (2000b), Pauli (1999), Castillejos y otros (1996),

Sánchez y otros (1993), Guzmán y otros (1993), Guzmán-Dávalos y otros (1987); pero aun el mercado potencial es grande pues la producción mundial no alcanza a abastecer la demanda, Chang (1999), Martínez (2000, 1984), Chang (1980).

El desecho del café sirve para cultivar hongos tropicales, el costo es bajo porque la materia prima se paga por recibirla, además, se esteriliza al exponerla a vapor y agua hervida, de forma que se producen hongos a precios más competitivos que los chinos. Así organizamos todo en un sistema que hace una cascada de nutrientes, materia y energía y elimina lo innecesario. Pauli Gunter¹²

Pauli hace referencia a que “*debemos imitar a la naturaleza, que no produce residuos, y en la que todo obedece a unos ciclos que se suceden de forma eficiente*”. (hongossenacaldas.blogspot.com.co, s.f.).

En Colombia, se hacen amplias investigaciones referentes al *Pleurotus*, pero industrialmente aún no se consolida. *Agaricus bisporus* y *Pleurotus sajor caju* son los hongos de mayor importancia comercial; y especies de los géneros *Lentinus*; *Ganoderma* y *Auricularia* prosperan actualmente. La producción de hongos puede ser una actividad complementaria de la economía campesina, pues se cultiva de manera sencilla y se puede comercializar en fresco o procesado. (hongoscomestibles1.blogspot.com.co, s.f.)

5.5. Los Residuos

En el medio natural pareciera que este término no existe, pues la naturaleza se encarga con cada ciclo biogeoquímico de reducir, reciclar y reutilizar toda la materia contenida en el planeta; o en el universo quizás. De tal modo que ha sido el ser humano el que ha generado con su estilo de vida un significado diferente para la palabra residuo, asociando esta ha desperdicio y contaminación.

Los elementos químicos necesarios para el mantenimiento de la vida, se encuentran en nuestro planeta en una cantidad limitada. Dado que no existen fuentes exteriores que aporten dichos elementos, la continuación de la vida solo es posible si en la naturaleza se cumple el recambio cíclico de estos elementos. Bajo este enfoque, el término residuo no parece pertenecer a ningún ciclo natural. (Pravia, 1995). Basados en estas consideraciones preliminares se podría definir un residuo como un recurso fuera de las coordenadas espacio-tiempo de interés inmediato para el Universo Antrópico (Pravia, 1996).

¹² Economista y autor del libro economía Azul. Disponible en en <http://hongossenacaldas.blogspot.com/>

En la medida que el mundo avanza en su desarrollo, diferentes sectores enfocan una apreciación muy particular de residuo, así entonces:

En función de los recursos disponibles, los “desechos”, son materiales fuera de lugar y desde el punto de vista económico son el producto del uso ineficiente de los recursos en la producción de bienes y servicios demandados por la sociedad (Instituto Mexicano de Tecnologías Apropriadas, 1982).

La OCDE, considera que debido a la falta de tecnología para el aprovechamiento de los residuos y baja aceptación en el mercado de productos recuperados, esta materia se convierte en un residuo sin ningún valor económico, ya que han sufrido un proceso de transformación natural o artificial que ha modificado sus características fisicoquímicas iniciales. *“los residuos son consecuencia de la transformación de la materia y la energía (Pravia, y Sztern 1996). “Los residuos agrícolas se definen como todo aquel material sobrante o desperdiable generado en un establecimiento agropecuario”.* Grundey, K., (1982),

5.5.1. Gestión integral de los residuos sólidos.

La Gestión Integral de Residuos está definida como *“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.”* (Decreto 1713 de 2002)

Bajo este concepto se busca evitar y/o minimizar la producción desde el origen y recuperar al máximo del valor de aquellos que no pueden dejar de generarse, ósea aprovechamiento y valoración, lo que revierte en beneficios ambientales y económicos, pues aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios, disminuye la producción de gases y lixiviados debido a la desviación de material orgánico que es aprovechado por ejemplo, para compostaje o lombricultura. (Olmos, 2011)

Para los residuos aprovechables en Colombia, la Resolución 00375 2004 ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) establece las disposiciones sobre registro y control de los bioinsumos (compostaje) y extractos vegetales de uso agrícola en Colombia, así mismo el artículo 72 del decreto 1713 de 2002, establece que los residuos deben cumplir con algunos criterios y requerimientos para ser aprovechados.

Las fuentes generadoras de residuos sólidos son crecientes y diversas, y de acuerdo a su composición serán los tratamientos propuestos para minimizar el impacto al ambiente, así los residuos agropecuarios, industriales y domiciliarios

serán utilizados como fuente de alimento animal, fuente energética, abonos entre otros. (Sztern y Pravia, sf)

5.6. Lombricultura

La Lombricultura es una tecnología que busca transformar los desechos orgánicos en humus, que una vez estabilizados se transforman en abono de gran calidad. (Ministerio de Agricultura Chile, 2006)

La lombricultura ha sido una práctica de gran aceptación para el manejo de los residuos dado el poder de la lombriz para reciclar desechos orgánicos convirtiéndolos en humus o lombricompuesto, con el cual se rehabilitan suelos degradados e incrementa la productividad de las plantas cultivadas. Además su acelerada reproducción la hace parte de sistemas integrales de producción, como proteína animal para uso en la piscicultura y crianza de aves, entre otros. (Escobar, 1998)

La lombriz californiana (*Eisenia foetida*), es un anélido, que puede ser criado en cautiverio, en distintos climas y alimentado con variedad de residuos vegetales y estiércoles, lo que son excretados en forma de humus. (Mosquera, 2010). Este invertebrado tiene un promedio de vida de 16 años, con altos niveles de reproducción y cada día come materia orgánica equivalente a su peso y expelen el 60% transformado en humus; es hermafrodita y alcanza su madures sexual a los tres meses, puede llegar a medir 8 a 10 centímetros de longitud después de 9 meses. (Pastorelli, 2006)

5.6.1. Humus de Lombriz

La materia orgánica por acción de microorganismos y través de los años se produce humus, el cual se conoce como el último estado de descomposición de la materia al encontrarse esta químicamente estabilizada como coloide, siendo de esta manera como regula la dinámica de la nutrición vegetal en el suelo. Mediante la lombriz este proceso solo dura un lapso de horas, que es el tiempo que demora está en digerir lo que come, además de que es muy prolífica, 1.500 lombrices por año bajo condiciones óptimas, sus deyecciones orgánicas son ricas en flora bacteriana, con billones de colonias de bacterias vivas y activas por gramos de humus producido. En cálculos promedios una lombriz produce aproximadamente 0.3 g de humus diariamente. (Pastorelli, 2006)

El humus de lombriz puede incrementar hasta en un 300% la producción de hortalizas y otros productos vegetales.

A manera de ejemplo se demuestra en el caso de 1 m² con unas 50.000 lombrices de las cuales unas 20.000 a 25.000 son adultas y consumen

aproximadamente 0,5 g diarios de alimentos del cual expulsan 0,3 g en forma de humus, el cual a su vez es procesado por las lombrices medianamente adultas, las pequeñas y las recién nacidas. Tomando las 25.000 adultas solamente por 0,3 g tendremos 7.500 g diarios de humus, lo que extrapolado a 1.000 m² se producirían 7.500.000 g ó 7.500 Kg diarios de humus. (Pastorelli, 2006).

Con estos datos se puede visionar una solución a corto plazo de un problema ambiental como son la disposición de residuos, convirtiéndolos en un fertilizante biológicamente puro. (Pastorelli, 2006).

5.6.2. El Cultivo de lombriz (Instituto Cristiano de promoción campesina , 1998)

La lombriz de tierra es una fábrica de vida que produce humus y recupera los suelos para las actividades agropecuarias, algunos aspectos a tener en cuenta esta práctica son los siguientes.

- Especie: aunque existen más de 10 mil especies, la utilizada comercialmente es la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) una especie muy trabajadora que se adapta a todos los climas, se alimenta de desechos orgánicos semidescompuestos, en el día come una cantidad igual al peso de ella misma y solo expulsan un 60% de lo consumido. En un metro cuadrado pueden manejarse 50.000 lombrices, un kilogramo de lombriz contiene 1200 y 1600 lombrices, 200 mil lombrices al año pueden producir unas 30 toneladas de abono, no les gusta la luz, sustancias aromáticas, subproductos del petróleo, ni ningún químico.
- Camas de cultivo: el cultivo es muy fácil y económico mediante un sistema de cama donde se le deposita su comida, puede ser en el suelo o en lo alto, en cajas plásticas o de madera, evitando el daño de las camas por los animales y de fácil acceso para alimentarlas y sacar abono, el tamaño puede ser de 1mt de ancho y la longitud que se desee. (de acuerdo a la cantidad de lombriz que se quiera manejar).
- Alimento: se le deben echar materiales semi-descompuestos, una buena dieta es un 60% de estiércol (caballo, ganado, cerdo, oveja, conejo) y un 40% de residuos secos de cosecha (tamos, pastos, cascarillas de cocina, papel) en fin todo lo que se pueda descomponer. Se humedece la cama, se colocan las lombrices cubriéndolas para evitar el estrés ya que no les gusta la luz, se sigue alimentando con material que no esté muy fresco, (residuos orgánicos), el pH debe mantenerse entre 6.0 y 7.0 y para ello se utiliza papel periódico (sin tinta de colores).

- Plagas: este cultivo tiene varios enemigos entre ellos las hormigas, la babosa, los ciempiés, las cucarachas, algunos ácaros y también son muy preferidas por los pájaros, las gallinas, roedores y lagartos.
- Cosecha: después de dos a tres meses pueden empezar a cosechar humus y lombriz, se descubren las camas y se va raspando por capas y la lombriz va profundizando, hasta dejar un poco de humus con lombriz, se le suministra nuevamente comida. (Instituto Cristiano de promoción campesina , 1998).

También se pueden colocar trampas encima en cada unidad productiva con lechos de comida nueva sobre una malla, la cual es retirada una vez las lombrices han emigrado del sustrato viejo al nuevo, el cual pasara a otra cama de cultivo, y el que queda estará listo para cosechar.

5.7. Aguas residuales

Según (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental OEFA, 2014), “*son aguas residuales a aquellas cuyas características originales han sido modificadas por las actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistemas de alcantarillado*”.

El hecho de que menos del 20% del agua residual sea tratada adecuadamente en los países de América Latina ha generado grandes problemas sociales, económicos y ambientales, los que no solo se solucionan con capacidad financiera sino también con estrategias eficientes administrativas, educativas y de investigación e innovación en tecnologías que permitan internalizar los costos de los tratamientos con equidad social. (PNUMA, 2001).

Según (Cubillos), se distinguen tres tipos de desechos líquidos: desechos líquidos municipales, desechos líquidos industriales, desechos líquidos agroindustriales, siendo estos últimos los de interés para esta investigación.

5.7.1. Características de las aguas residuales.

Las aguas residuales presentan las características físicas, químicas y biológicas alteradas, por lo que se hace necesario establecer sus cargas orgánicas de sólidos que transportan y así seleccionar el tipo de tratamiento. (Cubillos).

5.7.1.1. Características físicas. Las principales características a determinar en las aguas residuales son la temperatura, la concentración y la clase de sólidos principalmente. (Cubillos)

- ✓ *Temperatura: el aumento de temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases. (Cubillos).*
- ✓ *Sólidos: se encuentran en suspensión, coloidales y disueltos, en los análisis de laboratorio solo se hace la distinción entre sólidos en suspensión que retiene el papel del filtro # 40 y disueltos. Además se determinan los sólidos totales por evaporación, la fracción inorgánica por calcinación durante 15 min a 600°C y la fracción volátil u orgánica. (Cubillos)*

5.7.1.2. Características químicas. las aguas residuales han recibido sales inorgánicas y materia orgánica de la preparación de alimentos y el metabolismo humano, además de biocidas, detergentes y desinfectantes. (Cubillos).

Generalmente hay presencia de compuestos inorgánicos como sales, nutrientes (nitrógeno y fósforo), trazas de elementos minerales (Hierro, Cobre, Potasio, Sodio, Magnesio, Manganeso) y tóxicos provenientes de productos farmacéuticos, químicos y biocidas.

También se encuentran gases producto de la descomposición biológica de la materia orgánica como son: Oxígeno disuelto, Dióxido de carbono, Monóxido de carbono, metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno,

En cuanto los compuestos orgánicos, estos están representados por los hidratos de carbono (azúcares, almidones), proteínas, grasas, celulosa, lignina, orgánicos sintéticos, etc.

Los métodos para medir la materia orgánica se basan en la demanda de oxígeno para su oxidación o al contenido de carbono. (Cubillos)

- ✓ *Demanda química de oxígeno DQO: es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar contaminantes (orgánicos e inorgánicos) por reacciones puramente químicas, se mide mediante análisis químicos. Hay compuestos orgánicos que no son oxidados en la prueba de las DQO. (Cubillos).*
- ✓ *Demanda bioquímica de oxígeno DBO: es la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación biológica de la materia orgánica carbonácea en los desechos, a 20°C durante un periodo de tiempo específico. Es una prueba Bioquímica. (Cubillos)*

5.7.1.3. Características Biológicas: existen microorganismos saprofitos que degradan la materia orgánica en compuestos simples y microorganismos patógenos, las características biológicas de aguas residuales se miden en pruebas para organismos indicadores como número más probable (NMP) y conteo total de bacterias. (Cubillos).

5.7.2.Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de ser vertido al medio, incluye un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas. Los efluentes tratados deben cumplir con los límites legales permisibles para que puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores. (CENTA, 2008).

5.7.2.1. Pretratamiento: consiste en una serie de operaciones físicas y mecánicas, que separan del agua residual la mayor cantidad de materias solidas de acuerdo al tamaño y naturaleza, evitando así problemas en las etapas posteriores. Dentro del pretratamiento se incluyen operaciones de separación de sólidos, desbaste, tamizado, desarenado y desengrase. (CENTA, 2008).

5.7.2.2. Tratamiento primario: también se le denomina clarificación, sedimentación o decantación. Aquí el agua se decanta por un periodo de dos horas, dando como resultado un fango liquido-sólido y un líquido clarificado, este último de calidad aprovechable para el siguiente tratamiento (secundario). Los principales procesos físico-químicos utilizados son, floculación y filtración. (Kiely, 1999).

Sedimentación: Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga trayectoria descendente, depositándola en el fondo del sedimentador. (www.cyclucid.com, s.f.)

Flotación: permite separar la materia solida o liquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de esta hasta la superficie del fluido. (www.cyclucid.com, s.f.)

Coagulación-floculación: parte de la materia en suspensión está formada por partículas de muy pequeño tamaño, los que se unen y forman una suspensión coloidal. (www.cyclucid.com, s.f.)

Filtración: es una operación en la que el agua pasa a través de un medio poroso, donde se retiene la mayor cantidad de materia en suspensión. Tradicionalmente

se usa como medio poroso un lecho de arena de altura variable. (www.cyclucid.com, s.f.)

La filtración puede hacerse en función de si el filtro es de funcionamiento continuo o semicontinuo, en los primeros las fases de filtración y el lavado se dan en forma simultánea, en el segundo las fases se dan una a continuación de la otra. (Operaciones del tratamiento primario: sedimentación, flotación y filtración, s.f.)

En los filtros semicontinuos la filtración en la que se elimina la materia particulada, se lleva a cabo haciendo circular el agua través de un lecho granular, con o sin la adición de reactivos químicos. Dentro del estrato granular, la eliminación de los sólidos en suspensión contenidos en el agua residual se realiza mediante un proceso en el que intervienen uno o más mecanismos de separación como el tamizado, interceptación, impacto, sedimentación y adsorción. (Operaciones del tratamiento primario: sedimentación, flotación y filtración, s.f.)

El tratamiento primario logra reducir los sólidos en suspensión, reducir la DBO₅, reducir la cantidad de fango activado, separación del material flotante, homogenización parcial de caudales y carga orgánica. (Kiely, 1999).

5.7.2.3. Tratamiento secundario: consiste en una acción biológica a partir de microorganismos (bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica y logran la reducción del valor de la DBO₅ y los sólidos suspendidos provenientes del tratamiento primario; aquí se biodegrada la materia en productos no contaminantes. (Kiely, 1999).

Para llevar a efecto el tratamiento secundario se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico.

5.7.2.4. Tratamiento terciario: también llamados avanzados o complementarios. El efluente obtenido es de mejor calidad, pudiendo ser vertidos o reutilizados. Se hace mediante la combinación de operaciones físico-químicas y biológicas. (CENTA, 2008).

5.7.3. Reúso de aguas residuales

Ante la alarma mundial del deterioro del recurso agua, las comunidades deben aprender a hacer uso eficiente del agua para la conservación del recurso hídrico, entre otras acciones que conduzcan al complejo desarrollo sostenible.

Colombia por su parte mediante la resolución 1207 de 2014 orienta la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente del agua, así

como una estrategia promueve el reusó del agua residual para el ahorro y uso eficiente de la misma y aclara que no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos. Resulta importante saber que es necesario solicitar concesión de uso de aguas reusadas, pero que si la totalidad de las aguas residuales se entregan para reusó no se requerirá permiso de vertimiento por parte del usuario generador y no habrá lugar al pago de Tasa Retributiva.

En cuanto a los usos la norma también aclara las actividades agrícolas e industriales donde se permite el reúso de aguas residuales tratadas y de los parámetros físico químicos que estas deben cumplir, entre otros temas relevantes de prevención, monitoreo y seguimiento.

La resolución 631 de 2015 es más específica y responsabiliza al generador, estableciéndole los parámetros los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Esta resolución deberá ser aplicada por todos aquellos que realicen vertimientos a los sistemas de alcantarillado público y a aguas superficiales; no incluye vertimientos a aguas marinas o al suelo. (www.atcalsas.com, s.f.).

Dentro de la norma, se establece una clasificación de 73 actividades productivas como generadoras de agua residuales y ahora el control de las sustancias contaminantes se regirá por los límites máximos definidos para cada una de ellas. (www.atcalsas.com, s.f.).

Puntos principales de la norma: Dentro de los criterios que se regularizan se encuentra:

- a. Rangos de temperatura admisible para el agua residual a verter
- b. Parámetros microbiológicos
- c. Límites permisibles de Ingredientes activos plaguicidas
- d. Límites permisibles de parámetros fisicoquímicos

Estas tablas de límites se encuentran separadas para aguas superficiales y aguas vertidas en alcantarillado público.

En su capítulo IV de la resolución en mención, hace referencia a las aguas residuales que provienen de actividades de uso de pesticidas en sus diferentes toxicologías y establece los valores límite máximos permisibles de concentración, en atención a referencias del ministerio de salud y la protección social.

5.7.4. Aguas residuales de la producción de hongos

En la adecuación anaerobia de los sustratos para la producción de hongos se generan aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica, las cuales es necesario tratar utilizando sistemas biológicos.

Las aguas residuales que muestran las mayores concentraciones de DQO, son aquellas provenientes de la adecuación de sustratos que contienen pulpa de café, cuyos valores de concentración están entre 37.300 ppm y 15.200 ppm. Para sustratos como borra de café, aserrín del tallo de café, cisco y película plateada las concentraciones de DQO en el agua residual son menores a 3.700 ppm. (Rodríguez y Jaramillo 2004).

La concentración media de las aguas residuales provenientes de las mezclas de pulpa de café con otros subproductos es de 26.250 ppm en términos de DQO, la cual es muy similar a la generada en el proceso de lavado de café en los tanques de fermentación, que es del orden de 27.400 ppm. (Rodríguez y Jaramillo 2004).

Por consiguiente, las aguas residuales generadas en el proceso de cultivo de los hongos *Pleurotus* spp., pueden ser tratadas apropiadamente en los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico diseñados por Cenicafé para el tratamiento de las aguas residuales de beneficio en las fincas. (Zambrano F, citado por Rodríguez y Jaramillo 2004).

6. Materiales y métodos

6.1. Ubicación y Fecha de la investigación.

La investigación se realizó en la finca San Francisco en el corregimiento Villa de San Andrés, municipio de Aguachica, ubicado a los 8° 18' 45" de Latitud Norte y 73° 37' 37" de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, entre la Cordillera Oriental y el valle del Río Magdalena, a una distancia de 310 kilómetros de Valledupar, la capital del Cesar; a una altitud de 170 msnm, temperatura promedio anual de 30°C y una humedad relativa media del 75%, precipitación anual de 1200 mm.¹³. La investigación tuvo una duración de 12 meses, comprendidos desde marzo de 2014 a marzo de 2015. (Incluye preparación de la semilla en Cenicafé, cosecha de Hongos, Lombricultura y filtrado de Aguas residuales.)

6.2. Materiales

6.2.1. Sustratos.

- ❑ **Cacota de algodón:** Los residuos obedecen a porciones de brácteas y cáliz del pedúnculo floral, así como los sépalos que cubren la mota de algodón, los que son eliminados en el proceso de descapote del algodón. (Imagen 10).

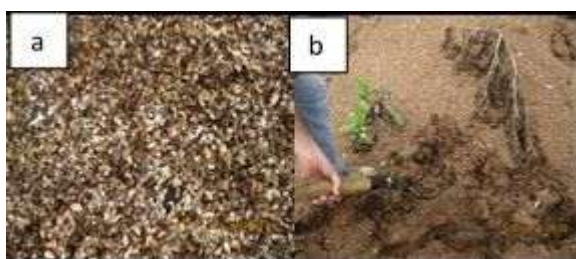
Imagen 10: Desechos en el descapote del algodón.



¹³ Tomado del Plan de ordenamiento territorial POT, municipio de Aguachica Cesar. 2000.

Se clasifican dos tipos de cacota de acuerdo al tamaño de la partícula, cacota gruesa, que corresponde al tamaño original del residuo y cacota fina, proveniente del escape de esta, por acción de la presión del aire a través de fisuras del tubo conductor del residuo hacia el exterior de la planta. (Imagen 11)

Imagen 11: a) Cacota gruesa. b) Cacota fina.



Fuente: la autora.

❑ **Sustrato agotado de cacota de algodón**

La producción de hongos del genero *Pleurotus*, una vez terminada la fructificación y luego de tres cosechas de hongos, dejó un residuo deshidratado y susceptible aun de ser utilizado como materia prima de otro proceso, (tratamiento de aguas y producción de abono orgánico). (Imagen 12).

Imagen 12: Sustrato agotado del cultivo de hongos.



Fuente la autora.

❑ **Agua Residual**

El proceso de fermentación anaerobia de la cacota de algodón genera aguas residuales con cargas contaminantes. Las cuáles fueron caracterizadas para determinar parámetros fisicoquímicos. (Imagen 13).

Imagen 13: Aguas residuales producto del proceso de fermentación de la



cacota.

Fuente la autora

6.2.2. Suplementos

- ❑ Compuestos de calcio, como el sulfato de calcio (CaSO_4) también conocido como yeso y el carbonato de calcio (CaCO_3), con el fin de acondicionar el pH del medio y suministrar iones de Ca^{++} , los cuales desempeñan un papel importante en la estimulación del crecimiento hifal.
- ❑ Melaza de caña. Para favorecer la transformación del sustrato agotado del cultivo de hongos en abono orgánico, mediante la técnica de Lombricultura.

6.2.3. Material Biológico

- ❑ Se utilizó semilla comercial de las cepas de hongos del género *Pleurotus* (*P. pulmonarius*, *P. sajor caju*, *P. florida* y *P. ostreatus*), provenientes del cepario de hongos comestibles y medicinales del laboratorio de la Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación de Cenicafé, las cuales fueron donadas por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, para realizar la investigación y que han sido conservadas mediante transferencia seriada en medios de agar nutritivo y multiplicadas en arroz. (Imagen 14).

Imagen 14. a) Cepas de *Pleurotus* sp. **b)** Semilla comercial de *Pleurotus* sp



Fuente: Archivo fotográfico Cenicafe.

- Para la transformación del sustrato agotado se utilizó lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), proveniente de un cultivo local, cuya base de alimentación es el estiércol vacuno. Ver (Imagen 15).

Imagen 15: Pie de cría lombriz roja californiana.



Fuente: archivo fotográfico de Cenicafe

- Para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del proceso de fermentación de la cacota de algodón, se utilizó el sustrato agotado del cultivo de los hongos, desagregado.

6.3. Métodos

6.3.1. Metodología para el objetivo específico numero 1: *Caracterizar físico-químicamente la cacota de algodón y proponer, de acuerdo a los requerimientos nutricionales de los hongos del género Pleurotus, las formulaciones para la producción de hongos comestibles”*

Se recolectaron las muestras de la planta de procesamiento de Coalcesar ubicada en el municipio de Aguachica. (Imagen 16).

Imagen 16: Toma de la muestras.



Fuente la autora.

Se seleccionaron 200 kg de cacota para la investigación (Imagen 18), de los cuales se apartaron muestras de 500 gramos de sustrato fresco, en dos presentaciones, cacota gruesa y cacota fina, para hacer el respectivo análisis de humedad, pH, porcentaje de cenizas y nitrógeno total, del mismo modo se tomaron muestras de cacota de la cosecha del ciclo anterior (Primer semestre del año 2013) almacenada a la intemperie por 11 meses en la empresa COALCESAR para conocer su estado fisicoquímico por descomposición natural, las muestras se enviaron al laboratorio de CENICAFE para su análisis (Imagen 17).

Imagen 17: Aspecto de las muestras enviadas al laboratorio



Fuente la autora

□ Caracterización de la cacota de algodón

En los laboratorios de Cenicafé se le determinó a la cacota de algodón los siguientes parámetros: pH, humedad, contenido de cenizas y contenido de nitrógeno

a) Determinación Del Contenido de Humedad

La metodología consistió en tomar la muestra en su estado inicial, determinar su peso P_i (peso inicial) y llevarla a calentamiento en un horno a 105°C hasta peso constante P_f (peso final), y determinar por diferencias de peso el contenido de humedad, con los siguientes cálculos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Ecuación 1 Cálculo de la humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Fuente la autora

A cada una de las muestras se les realizó 5 repeticiones (Anexo 1), con el fin de obtener un promedio de cada uno de los análisis.

b) Determinación del pH

La metodología utilizada para determinar el pH consistió en diluir aproximadamente 0.5 gramos de cada de las muestras en 30 ml de agua destilada durante dos horas. Terminada las dos horas de dilución se procedió a medir el pH, utilizando un peachímetro Metter Toledo, Modelo Seven Go Referencia SG2-FK con un electrodo combinado Referencia InLab 413SG.

A cada una de las muestras se les realizo 5 repeticiones (anexo 2) con el fin de obtener un promedio de cada uno de los análisis.

c) Determinación del Porcentaje De Cenizas

La metodología consistió en tomar cinco muestras secas, de 10 gms cada una, determinar su peso P_i (peso inicial) y llevarla a calentamiento en una mufla a 750°C durante 3 horas. Culminada la calcinación se determinó el P_f (peso final), y por diferencias de pesos la cantidad de cenizas. (Anexo 3)

Determinación de Nitrógeno Total Kjeldhal

Se realizó el análisis del contenido de nitrógeno teniendo en cuenta la metodología descrita en el manual de laboratorio de Biodigestión anaeróbica y caracterización de aguas residuales, desarrollado por Cenicafé (1995) y comprendió tres fases.

Fase 1

El peso inicial de las muestras secas fue de aproximadamente 0,1 g, la cual se le agrego 10 ml de ácido sulfúrico 95-97% el cual provee un medio oxidante y con la ayuda de 1/4 de tableta catalizadores de Kjeldahl y alta temperatura, permitió descomponer todas las estructuras orgánicas, dejando libre y

transformando el nitrógeno en sulfato de amonio. Este proceso se lleva a cabo en la unidad de digestión Buchi.

Fase 2

El proceso a realizar a continuación fue la descomposición del sulfato ácido de amonio por medio de un exceso de álcali fuerte (NaOH 32 %) que permitió pasar de un pH ácido a un pH básico necesario para liberar el amoníaco.

Para este proceso se utilizó la unidad de destilación Buchi B-323 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9**), y la captura del destilado se realiza con 20 ml de ácido bórico 4% v/v , más 20 ml de agua destilada. Finalmente se adicionaron 3 gotas de indicador mixto (Azul de metileno-Rojo de metilo).

Imagen 18: Destilación del amoniaco en la solución de ácido bórico. Destilador Buchi B-323.



Fuente: la autora.

Fase 3

El destilado se tituló con ácido clorhídrico (HCl) al 0,1N estandarizado, hasta un cambio de color traslucido. De esta manera se determina que por cada ml de la solución de HCl 0,1N equivale a 0.0014g de nitrógeno. (Imagen 19)

Imagen 19: Titulación con HCL 0.1 N. Dosimat



Fuente la autora

6.3.2. Metodología para el Objetivo específico N°2. *“Evaluar el impacto de la contaminación ambiental, en términos de DQO, debido a la mala disposición de la cacota de algodón”.*

La metodología fue la siguiente: Se determinó el contenido de cenizas de la cacota de algodón y con ese valor se determinó el contenido de materia orgánica, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Contenido de Materia orgánica (\%)} = 100 - \text{contenido de cenizas (\%)}$$

Una vez determinado el contenido de materia orgánica. Se determinó el contenido de C, mediante la siguiente expresión:

$$C = 0,58 * (\%MO) \text{ (Sánchez and Royse, 2001)}$$

Una vez determinado el contenido de C en gramos, en las muestras, se determinó el número de moles de C, así:

$$\text{Moles de C} = \text{gramos de C} / 12$$

Con el número de moles de C y por estequiometría se determinó el número de moles de O₂ necesario para la oxidación química de la materia orgánica (DQO).



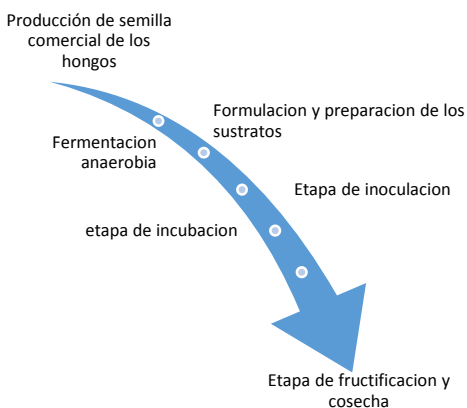
Mediante el peso molecular del Oxígeno, se determinó la cantidad en gramos de O₂ necesarios para la oxidación de la materia orgánica, equivalente al impacto ambiental, en términos de DQO, que tiene la cacota de algodón.

$$\text{Gramos de O}_2 = \text{moles de O}_2 * 32$$

6.3.3. Metodología para el Objetivo específico N°3. “*Evaluar los rendimientos medios, la eficiencia biológica media y la precocidad de 4 especies de Pleurotus*”, la metodología fue la siguiente:

Como todo cultivo, el proceso inició con una unidad propagativa pasando por varias etapas hasta culminar en un fruto, tal como se ilustra en la Figura 1.

Figura 1. Etapas en el cultivo de los hongos.



□ Producción de la semilla

• **Producción en botellas planas**

A partir de las cepas, conservada en los tubos de ensayo, se multiplicó el micelio en botellas planas conteniendo como medio de cultivo EMA. Se incubaron bajo oscuridad a las condiciones del laboratorio de recursos naturales de Cenicafé, hasta obtener entre el 90 y 100% de invasión micelial sobre el medio de cultivo momento en el cual se refrigeró a 4°C hasta su utilización (Imagen 20).

Imagen 20: Producción de semilla en botellas planas



Fuente: Archivo fotográfico Cenicafé

- **Producción de semilla primaria**

El micelio se multiplicó en granos de trigo para conformar la semilla primaria o cepa madre. Con el fin de alcanzar la humedad necesaria para la obtención de esta semilla, se lavó el grano con agua de grifo hasta retirarle la suciedad y el material flotante, después se escurrió. Al cereal limpio se le adicionó 0,5 l de agua/kg de grano seco y se colocó en un recipiente al fuego hasta eliminar el agua totalmente.

Posteriormente se llenaron frascos previamente lavados y esterilizados, con 200g de trigo hidratado con una humedad entre el 38 y 42%, estos se esterilizaron a 121°C durante 20 minutos en una autoclave. Una vez esterilizado el sustrato, se enfriaron los frascos en mesones desinfectados y se inoculo cada frasco con 1/3 del micelio desarrollado en botellas planas. Se incubaron bajo oscuridad a temperatura ambiente, hasta que el micelio cubrió completamente el trigo (Imagen 21).

Imagen 21: Producción de semilla cepa madre



Fuente: Archivo fotográfico Cenicafé

- **Producción de la semilla comercial**

Para la producción de la semilla secundaria o comercial, se utilizaron granos de arroz, siguiendo la metodología empleada para la producción de la semilla primaria.

Una vez acondicionado el grano, se empacó 1 kg del cereal hidratado, en bolsas de polipropileno termoresistentes de 20 cm de ancho x 50 cm de largo, calibre 3, para su posterior esterilización.

Una vez esterilizado el material, las bolsas se enfriaron y se inocularon con la semilla madre a una tasa del 10% (100 gramos de semilla madre para cada bolsa de semilla de siembra), en el extremo superior de estas, se les colocó un anillo de PVC de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y 0,5 cm de longitud, que sirvió para sostener un tapón de algodón y de esta forma permitir el intercambio gaseoso, necesario para el desarrollo micelial.

Se incubaron bajo oscuridad a temperatura ambiente; cuando el crecimiento micelial llegó al 95 o al 100%, se refrigeraron para luego ser utilizadas en la inoculación de los sustratos (Imagen 22).

Imagen 22: Producción de semilla comercial



Fuente: Archivo fotográfico Cenicafé

La semilla comercial fue trasladada al municipio de Aguachica, Cesar, por medio terrestre, la cual se mantuvo refrigerada hasta la fecha de inoculación en el sustrato de cacota de algodón (Imagen 23).

Imagen 23: Almacenamiento de semilla comercial de *Pleurotus* sp.



Fuente: La autora

□ Formulación y preparación del sustrato:

Las formulaciones se elaboraron teniendo en cuenta que había suficiente sustrato y que su disponibilidad estaba dada por el material residual del reciente ciclo de producción de algodón en la región en el primer semestre del año 2014, para este ciclo la empresa Coalcesar procesó un promedio de 3664,5 ton de materia prima, para un cantidad de 342,6 ton de residuo aproximadamente.

- Establecimiento de las formulaciones:

De acuerdo a los resultados de la caracterización del sustrato, se evaluaron tres formulaciones, en las cuales las materias primas se mezclaron en diferentes porcentajes en base seca, la cacota se mantuvo en su estado natural ya que el

tamaño de partícula original es el recomendado, entre 0,5 y 2 cm (Rodríguez, 2001). Según el autor con este tamaño se han encontrado los mejores rendimientos de cultivo.

Para la mezcla de los sustratos se dispuso un plástico sobre el piso y sobre éste se extendió primero el subproducto de la formulación que estaba en mayor cantidad y a continuación los que le siguen en peso, finalizando con el que está en la menor cantidad (Imagen 24).

Imagen 24: preparación de las formulaciones a base de cacota de algodón.



Fuente la autora

La mezcla se realizó con una pala hasta que el material quedó homogéneo y luego se empacó en costales de fibra limpios (se llenaron hasta las $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad) y se amarraron con fibra plástica. Se rotularon cada uno de los costales con el número de la formulación. (Imagen 25).

Imagen 25: Empaque de las formulaciones a base de cacota de algodón.



Fuente la autora.

Adecuación del sustrato.

Una vez rotulados los costales, se sumergieron en agua limpia no tratada, utilizando 11 litros de agua/kg de sustrato seco (equivalente a 690 litros/mezcla) y se colocó un sobrepeso que mantuviera el sustrato en inmersión. Fue fundamental que los costales permanecieran siempre sumergidos en el agua, pues de quedar alguna parte en la superficie o algún tiempo flotando, el material

puede contaminarse en la etapa de incubación. Las mezclas se mantuvieron sumergidas por 1 semana para lograr la fermentación (Imagen 26).

Imagen 26: Adecuación de los sustratos por fermentación anaerobia.



Fuente la autora

Finalizado los siete días, se retiraron de los tanques de fermentación las natas o el material flotante que se formó en el proceso de adecuación del sustrato, para ello se utilizó un colador, las natas recolectadas se dispusieron en una compostera. Los costales se retiraron de las canecas y se colocaron a escurrir, suspendidos, durante la noche. Estos costales se asperjaron externamente al momento de colgarlos, con una solución de Vanodine al 5%. (Solución desinfectante). (Imagen 27).

Imagen 27: finalización del proceso de adecuación del sustrato.



Fuente: la autora

Al día siguiente, los costales se volvieron a asperjar con una solución de vanodine al 5%, se pesaron para determinar la cantidad de semilla a utilizar, de acuerdo con una tasa de inoculación del 4%.

❑ Adecuación del área de siembra

1. El área de siembra fue un cuarto hecho provisionalmente para la investigación, de 2,80 m de fondo, por 5,50 m de ancho y 3,00 m de alto, con paredes de fibra sintética y angeo o malla mosquitera, techo de cinc, cielo raso en fibra sintética y piso en cemento. (Imagen 28).

Imagen 28: Aspecto del área de siembra.



Fuente la autora.

2. Se adecuó un mesón para disponer el sustrato fermentado y realizar la mezcla con la semilla de los hongos seleccionados.
3. Tanto el cielo raso, las paredes, los pisos y el mesón de siembra fueron asperjados con solución jabonosa (20 gr de Detergente por litro de agua) y limpiados con una solución desinfectante (100 ml de Límpido comercial por litro de agua). Se cubrió el mesón con un plástico previamente lavado y desinfectando con alcohol al 70%. Labores que se realizaron un día antes de la siembra.
4. Sobre el mesón desinfectado se dispuso la semilla de siembra para aclimatarla a las condiciones de temperatura del cuarto. Esta labor también se hizo un día antes.

Se alistaron para la siembra dos mecheros de alcohol, el material de empaque (bolsas transparentes y negras, fibra de amarre, bisturí, cinta de enmascarar para

rotulación del material). Se dispuso de gorro, tapabocas, bata y guantes para el personal que ejecuto la siembra. (Imagen 29).

Imagen 29: materiales para la inoculación.



Fuente la autora

□ Etapa de Inoculación.

Los costales de las mezclas fueron llevados al área de siembra donde se pesaron 100 kg por tratamiento para distribuirlo en las cuatro cepas. Con los mecheros ya encendidos en cada uno de los extremos del mesón, se asperjó con alcohol externamente las bolsas de la semilla y se aflojaron los granos sin destapar la bolsa.

Se separaron 25 kilos por mezcla y cepa, el que se esparció sobre el mesón y se le adicionó 1 kg de semilla del hongo seleccionado en forma uniforme revolviéndolo hasta obtener un producto homogéneo. (Imagen 30).

Imagen 30: Proceso de inoculación de los sustratos.



Fuente la autora.

Adicionalmente, se separó una muestra de 500 g, de cada uno de los tratamientos se empacó en una bolsa debidamente rotuladas con el número de la formulación y la fecha y se envió a Cenicafé para realizar análisis de

laboratorio. Igualmente las aguas residuales, producto de la fermentación del sustrato, fueron enviadas al laboratorio de Cenicafé. (Imagen 31).

Imagen 31: Muestras de sustrato fermentado y agua residual para análisis de laboratorio.



Fuente la autora

Seguidamente se empacó 1 kg de sustrato, en bolsas de polietileno transparentes de 30 x 45 cm, calibre 2, haciéndole presión al sustrato, para eliminar el exceso de aire y garantizar el contacto entre la semilla y el sustrato, a medida que se fue llenado, de tal forma que quedó compacto; inmediatamente se amarró la bolsa a ras del sustrato utilizando fibra. Para permitir el drenaje y el intercambio de gases se hicieron 40 orificios de 1 cm, en forma de cruz, alrededor de las bolsas y ocho orificios más en el fondo. Se utilizó un bisturí, desinfectado con alcohol y flameado con el mechero (imagen 32).

Imagen 32: Empacado del material inoculado.



Fuente la autora

El material sembrado se rotuló colocando el número de la formulación, el tipo de cepa empleado, el número de la bolsa y la fecha de siembra (Imagen 33).

Imagen 33: Rotulado de las unidades experimentales.



Fuente la autora.

Luego el sustrato inoculado se reembolsó en bolsa negra, a manera de cubierta, amarrando levemente el extremo para darle oscuridad a la bolsa de polietileno. La bolsa transparente sólo es para observar el desarrollo del hongo, pues cuando no se esté en investigación, la embolsada se realiza directamente en la bolsa negra. (Imagen 34).

Imagen 34: Reembolso para suministrar oscuridad.



Fuente la autora.

□ Etapa de Incubación.

Las 100 bolsas de la formulación número 1, se colgaron en las cuerdas verticales dispuestas en el cuarto de incubación. Se desinfectó nuevamente el área de siembra y se continuó con la formulación número 2 y las cepas correspondientes en cada 25 Kg de sustrato bajo el mismo procedimiento, igual metodología se utilizó para la formulación número 3 y las cuatro cepas de *Pleurotus*. (Imagen 35).

Imagen 35: Disposición de las bolsas en cuerdas colgantes



Fuente la autora.

□ Etapa de fructificación y cosecha

El cuarto de incubación se utilizó también para la fructificación por lo que se hicieron revisiones diarias para detectar la colonización del micelio y su debido desarrollo hifal, formación de primordios y cuerpos fructíferos. (Imagen 36).

Imagen 36: desarrollo micelial y formación de primordios



Fuente la autora.

Los hongos se cosecharon cuando alcanzaron el tamaño adecuado (cuando el borde del píleo alcanzó una ligera inclinación hacia el interior), realizando una leve torsión en la base del pie. (Imagen 37).

Imagen 37: Desarrollo del cuerpo fructífero y recolección de carpoforos



Fuente la autora.

6.3.4. Metodología para el Objetivo específico N°4. *“Evaluar el rendimiento medio y el tiempo de proceso en la transformación del sustrato agotado de los hongos en abono orgánico mediante la lombricultura”*, la metodología fue la siguiente:

- Adquisición del pie de cría de lombriz roja.
- Preparación de los sustratos agotados para la siembra de la lombriz.
- Adecuación de las unidades experimentales (canastillas).
- Establecimiento de la lombriz roja.
- Cosecha del abono orgánico.

La producción de hongos comestibles se realiza sobre sustratos orgánicos, este sustrato es agotado por el crecimiento micelial y su respectiva conversión de biomasa a proteína, dejando nuevamente un residuo con características físicas y químicas propias de una materia prima para un nuevo proceso. (Imagen 38).

Imagen 38: Recolección del sustrato agotado del cultivo de hongos.



Fuente la autora.

Una vez cosechados los hongos descritos en el objetivo específico anterior, se procedió a compostar el sustrato agotado mediante la técnica de la Lombricultura.

Se trabajó un solo tratamiento (mezcla de sustratos agotados) y una sola técnica (lombricultura) atendiendo a las cantidades disponibles de sustrato agotado.

Se mezclaron todas las unidades experimentales residuales (30 kg) en un tanque, del que se tomó una nueva unidad experimental/tratamiento, esta unidad experimental estuvo conformada por una canasta de sustrato gastado de 10 kg de peso, la cual fue humedecida previamente mediante riego manual. (Imagen 39).

Imagen 39: Disposición del sustrato agotado en canastas para Lombricultura.



Fuente la autora.

Inicialmente se dividieron los 10 kg de sustrato gastado en cuatro canastas, quedando cada una con 2,5 Kg de material, se colocaron a manera de trampa las canastas sobre un cultivo ya existente de lombriz, las cuales ya venían siendo criadas con sustrato de cacota de algodón fresca y estiércol de ganado vacuno.

El objetivo de la trampa fue propiciar la migración de las lombrices del cultivo base a la canasta de comida fresca (sustrato agotado). (Imagen 40).

Imagen 40: Canastas trampas para la migración de lombrices.



Fuente la autora

6.3.5. Metodología para el Objetivo específico N°5. *“Estimar el potencial del sustrato agotado como filtro depurador de las aguas residuales obtenidas en el proceso de fermentación de los sustratos, en la producción de hongos”:*

Se realizaron los ensayos en una canaleta abierta construida en lámina galvanizada, sellada en los extremos y conectada a un tubo de salida. Las dimensiones de la canaleta

fueron: 100 cm de largo, 15 cm de ancho y 15 cm de altura, conteniendo 5 kg de sustrato agotado, previamente saturado con el agua residual, con una altura de lecho de 7 cm (imagen 41).

Imagen 41: Evaluación del sustrato agotado como medio filtrante.



Fuente: Archivo Fotográfico Cenicafé.

El procedimiento para la evaluación del sustrato agotado fue el siguiente:

- Desagregación del sustrato agotado con el fin de poderlo utilizar como material filtrante en las canaletas.
- Saturación del material desagregado con agua del grifo.
- Llenado de las canaletas con 5 kg de material.

- Caracterización del agua residual del proceso de fermentación anaerobia de la cacota de algodón en los parámetros pH, DQO, SST y Color.
- Adición del agua residual al filtro con un tiempo de retención de 1 día.
- Caracterización del agua proveniente del proceso de filtración en los parámetros pH, DQO, SST y Color.
- Determinación de los rendimientos del proceso.

6.4. Diseño Experimental

6.4.1. Cultivo de hongos

El estudio corresponde a un diseño factorial de 3*4; con tres formulaciones de sustratos y cuatro cepas de hongos (*P. pulmonarius*, *P. sajor caju*, *P. florida*, *P. ostreatus*), para 12 tratamientos. Cada tratamiento con 25 unidades experimentales, para un total de 300 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por una bolsa de sustrato inoculado de 1 kg de peso.

Para la información obtenida, se hizo un análisis descriptivo de las variables estudiadas y un análisis de varianza (ANOVA) para las variables producción y rendimiento medio, en cada uno de los tratamientos evaluados. Se infirió que no hay diferencias entre los tratamientos, si la diferencia en las variables de respuesta no es superior al 5%.

Los tratamientos se identificaron, tal como se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Identificación de los tratamientos

Identificación del Tratamiento	Número de la Formulación	Tipo de Cepa
T1	1	<i>P.ostreatus</i>
T2	1	<i>P. sajor caju</i>
T3	1	<i>P. pulmonarius</i>
T4	1	<i>P. florida</i>
T5	2	<i>P.ostreatus</i>
T6	2	<i>P. sajor caju</i>
T7	2	<i>P. pulmonarius</i>

T8	2	<i>P. florida</i>
T9	3	<i>P. ostreatus</i>
T10	3	<i>P. sajor caju</i>
T11	3	<i>P. pulmonarius</i>
T12	3	<i>P. florida</i>

6.4.2. Transformación del sustrato agotado:

Para este ensayo se empleó un diseño completamente al azar, con un solo tratamiento (mezcla de varios tratamientos de sustratos agotados) y una sola técnica (Lombricultura). La unidad experimental estuvo conformada por 10 kg de sustrato dispuestos en 4 canastillas.

Para la información obtenida, se hizo un análisis descriptivo de las variables estudiadas y un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple para las variables rendimiento medio y tiempo de proceso

6.4.3. Tratamiento de aguas residuales.

Para este ensayo se empleó un diseño completamente al azar, con un solo tratamiento (mezcla de varios tratamientos de sustratos agotados) y una sola técnica (filtración). La unidad experimental estuvo conformada por 5 kg de sustrato saturado con agua. Se realizaron 3 réplicas.

Para la información obtenida, se hizo un análisis descriptivo de las variables estudiadas y un análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple para las variables rendimiento medio y tiempo de proceso

6.5 Variables de Medición

6.5.1. Cultivo de hongos:

Para evaluar la producción de las cuatro especies de hongos, sobre las diferentes formulaciones se estimaron los parámetros de precocidad, eficiencia biológica media y rendimiento medio.

Precocidad: se definió como el tiempo, en días, transcurrido entre la siembra y la aparición de los primordios.

Eficiencia biológica media: se definió como la media aritmética de la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato, multiplicado por cien, en las bolsas productivas. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Ecuación 2. Eficiencia biológica media

$$EB = \frac{\text{masa de hongos frescos(kg)}}{\text{masa de sustrato seco a la siembra(kg)}} \times 100$$

Rendimiento medio: se definió como la media aritmética de la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato, multiplicado por cien, en todas las bolsas sembradas.

La eficiencia biológica se considera un parámetro importante en el cultivo de los hongos dado que permite determinar el potencial biológico de los sustratos para producir hongos, pues en muchos casos las pérdidas del cultivo se presentan por causas externas al sustrato, como son el mal manejo de las condiciones del cultivo, ya sea por falta de higiene en los mismos o por no proporcionar las condiciones adecuadas para la fructificación de los hongos.

6.5.2. Transformación del sustrato agotado: para evaluar la transformación del sustrato agotado a abono orgánico se midieron las variables: tiempo de proceso y rendimiento.

Tiempo de proceso: es el tiempo que transcurre desde que se siembra la semilla de lombriz en el sustrato, hasta que el residuo este totalmente compostado y apto para ser utilizado en la agricultura.

Rendimiento: entendido como la relación entre el peso final del sustrato compostado y el peso inicial del sustrato agotado fresco, multiplicado por cien.

6.5.3. Tratamiento de aguas residuales.

Para evaluar los rendimientos del sustrato agotado como medio filtrante en el tratamiento de las aguas residuales del proceso de fermentación de la cacota de algodón, se midieron las variables DQO, SST, pH y Color y los rendimientos en la eliminación de estos parámetros.

7. Resultados y discusión

7.1. Resultados del objetivo específico N°1.

“Caracterizar físico-químicamente la cacota de algodón y proponer, de acuerdo a los requerimientos nutricionales de los hongos del género *Pleurotus*, las formulaciones para la producción de hongos comestibles”.

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la caracterización para la cacota de algodón de granulometría fina y gruesa y fresca y composteada. Para todos los casos se analizaron 5 muestras.

Tabla 3. Resultados de la caracterización de la cacota de algodón

Parámetro		Caracterización de la cacota de algodón			
		Cacota de algodón fresca		Cacota composteada 11 meses	
		Fina	Gruesa	Fina	Gruesa
Humedad (%)	Promedio	12,88	31,25	27,35	25,77
	CV (%)	3,15	7,04	2,55	3,46
pH (unidades)	Promedio	6,73	7,66	7,41	7,18
	CV (%)	1,01	0,40	0,86	1,07
Cenizas (%)	Promedio	29,23	13,13	70,35	50,31
	CV (%)	5,79	8,48	2,41	9,00
Materia orgánica (%)	Promedio	70,77	86,87	29,65	49,69
	CV (%)	2,39	1,28	5,71	9,11
Carbono (%)	Promedio	41,04	50,38	17,20	28,82
	CV (%)	2,39	1,28	5,71	9,11
Nitrógeno (%)	Promedio	1,93	1,18	1,56	1,77
	CV (%)	1,59	1,21	1,10	3,87
C/N	Promedio	21,25	42,78	11,01	16,28

	CV (%)	2,12	2,14	6,10	9,46
--	--------	------	------	------	------

Contenido de humedad. El análisis de las diferentes muestras permitió observar que la cacota de algodón gruesa en estado fresco tiene la humedad promedio más alta (31,25%), mientras que la cacota fina fresca mostró el menor contenido de humedad (12,88%), la menor retención de humedad está relacionada por la pérdida de agua en función del tamaño de partícula y las condiciones medioambientales de la zona, favoreciendo el intercambio de calor y la evaporación del agua contenida en la cacota. A medida que el material se descompone se equilibra, para el diferente tamaño de partícula, la capacidad de retención de agua, que varió en el rango 24,5% al 28,1%. Para la producción de los hongos del género *Pleurotus*, se requieren valores de humedad en el sustrato cercanas al 75% (Muez & Pardo 2001), siendo necesario ajustar la humedad de la cacota de algodón, para utilizarla en el cultivo de *Pleurotus*.

pH. En general el pH de la cacota fresca y descompuesta o en proceso de descomposición, mostró valores en el rango neutro (6 a 8). El menor valor del pH se encontró para la cacota de algodón fina en estado fresco (6,73) y el mayor valor del pH para la cacota gruesa en estado fresco (7,66).

El pH óptimo para el sustrato utilizado en el cultivo de hongos, varía entre 6 y 8, dependiendo de las especies de hongos (Cho, 2005)

Contenido de Cenizas, materia orgánica y Carbono. Los menores contenidos de cenizas (13,13% y 29,23%) se presentaron para la cacota gruesa y fina respectivamente, en estado fresco y por ende los mayores contenidos de materia orgánica, con valores de 86,87% para la cacota gruesa y 70,77% para la cacota fina. Dado que el Contenido de C, se calcula como el contenido de Materia Orgánica * 0,58 (Sánchez and Royse, 2001), la cacota gruesa, en estado fresco, presentó el mayor contenido de C (50,38%), seguida de la cacota fina en estado fresco (41,04%). Los mayores contenidos de cenizas encontrados en las muestras de cacota composteadas, 70,35% en la cacota fina y 50,31% en la cacota gruesa, denotan una degradación del material, presentándose unos menores contenidos de materia orgánica (29,65% y 49,69%) respectivamente para la cacota fina y gruesa y unos contenidos de C del orden de 17,20% y 28,82% respectivamente para la cacota fina y gruesa, que no hace a la cacota composteada adecuada para el cultivo de hongos del género *Pleurotus*.

Contenido de nitrógeno. El nitrógeno es esencial en las síntesis de proteína, purinas y pirimidinas y los hongos utilizan una variedad de fuentes para obtener el nitrógeno necesario para la síntesis de los compuestos esenciales (Chang y

Miles, 1989). El mayor contenido de Nitrógeno se encontró en la cacota fina en estado fresco (1,98%). El valor del nitrógeno, de forma aislada, no permite determinar la calidad del sustrato para el cultivo de los hongos, siendo necesario relacionarlo con el contenido de Carbono, dada la importancia de estos 2 elementos en el ciclo de vida de los hongos.

Relación C/N. La mayor relación C/N, se encontró en los materiales de cacota fresca, 42,78 en la cacota gruesa y 21,25 en la cacota fina, mientras que para la cacota composteada, los valores de la relación C/N fueron de 11,01 para la cacota fina y 16,28 para la cacota gruesa, denotando un alto grado de descomposición del material composteado. (Anexo 4)

Zadrazil, 1978, establece que naturalmente, las especies de *Pleurotus* spp. crecen sobre partes de plantas vivas o muertas (como parásito o como saprófito), las cuales son generalmente pobres en nutrientes y en vitaminas, en ambos casos el micelio crece y forma cuerpos fructíferos utilizando los nutrimentos a partir de los complejos lignocelulósicos (relaciones Carbono/Nitrógeno entre 50 y 500).

De acuerdo con lo anterior, se encontró que las mejores características de la materia prima para la conformación del sustrato las posee la cacota de algodón gruesa en estado fresco.

7.2. Resultados del objetivo específico N°2.

“Evaluar el impacto de la contaminación ambiental, en términos de DQO, debido a la mala disposición de la cacota de algodón”.

Como se puede observar en los resultados de la caracterización realizada a la cacota de algodón, condensada en la Tabla 3, los mayores contenidos de materia orgánica se presentaron para la cacota de algodón gruesa en estado fresco, con un valor de 86,87%, valor muy similar al reportado Paredes *et al.*, 2002, quienes reportan un valor de 82,8%.

Este valor de materia orgánica representa un valor de C del 50,38%. Según datos de COALCESAR, la producción media en el año 2014 fue de 2,1 toneladas/ha-año, representando la cacota el 9,35% de la materia recibida y el área cultivada de algodón de 1745 ha.

Partiendo de estos datos se obtiene la siguiente información:

- kg de cacota de algodón fresca generados: $2,1 \text{ ton/ha-año} * 1745 \text{ ha} * 0,0935$
- kg de cacota de algodón fresca generados/año: 342631

→ kg de cacota de algodón seca generados/año: $342631 * (1 - \% \text{ de humedad de la cacota}/100)$

En la Tabla 2, se calculó un valor de humedad en la cacota gruesa en estado fresco del 31,25%.

→ kg de cacota de algodón seca generados/año: $342631 * (1 - 0,3125)$

→ kg de cacota de algodón seca generados/año: 235559.

→ kg de C en la cacota de algodón generados/año: $235559 * (\% \text{ C}/100)$.

→ kg de C en la cacota de algodón generados/año: $235559 * (0,5038)$.

→ kg de C en la cacota de algodón generados/año: $235559 * (0,5038)$.

→ kg de C en la cacota de algodón generados/año: 118675.

→ kmoles de C en la cacota de algodón generados/año: $118675/12$.

→ kmoles de C en la cacota de algodón generados/año: 9889,5.

→ La reacción de oxidación para el C de la cacota es: $C + O_2 = CO_2$

→ kmoles de O_2 necesarios para oxidar el C de la cacota al año: = 9889,5

→ Gramos de O_2 necesarios para oxidar el C de la cacota al año = $9889,5 \text{ kmoles} * 32 \text{ kg } O_2/\text{kmol} * 1000 \text{ g/kg}$

→ Gramos de O_2 necesarios para oxidar el C de la cacota al año = 316465413

→ Gramos de $O_2 = \text{DQO}$

→ DQO de la cacota de algodón/año = 316465413 gramos.

Lo anterior permite demostrar que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) generada por la cacota de algodón que no es aprovechada y que se dispone en el suelo o en el agua es de 316465413 gramos, equivalente a la contaminación que generaría, durante un año, una población de 8670 personas. La contaminación unitaria, en excretas y orina, producida diariamente por un habitante corresponde en promedio a 100 g de DQO (Veenstra, 1995).

7.3. Resultados del objetivo específico N°3.

“Evaluar los rendimientos medios, la eficiencia biológica media y la precocidad de 4 especies de Pleurotus”.

Formulaciones. Las formulaciones se elaboraron teniendo en cuenta los resultados de la caracterización de la cacota de algodón y su disponibilidad, por lo que se dio mayor participación a la cacota de algodón gruesa en estado fresco, seguida de la cacota de algodón fina en estado fresco tal como se muestra en la Tabla 3. La cacota composteada por su bajo contenido de C, no fue apta para la elaboración de los sustratos. Las formulaciones se elaboraron considerando relaciones cacota gruesa/cacota fina de 1,25; 2,6 y 4.

Tabla 4. Porcentaje de los materiales en las formulaciones evaluadas.

Formulación	Cacota gruesa	Cacota fina	Salvado trigo	Carbonato	Yeso	C/N
1	49%	39%	10%	1%	1%	31,44
2	64%	24%	10%	1%	1%	34,67
3	79%	19%	0%	1%	1%	37,83

Con base en los resultados C/N de las materia primas, se calculó la relación C/N de la formulación, la cual varió entre 31,44 y 37,83. De acuerdo con Chang, citado por Rodríguez y Jaramillo, 2005, las relaciones C/N, recomendadas para las cepas de *Pleurotus* spp deben estar entre 30 y 80.

La fermentación del sustrato cambia las características y los pesos iniciales, por lo que la tabla 5 presenta los pesos finales de las formulaciones y su caracterización en las variables pH y humedad

Tabla 5. Peso y características de las formulaciones después de la fermentación

Formulación	Peso húmedo (kg)	Parámetro Estadístico	pH (unidades)	Humedad (%)
Formulación 1	119	Promedio	5,57	79,94
		CV (%)	2,94	4,32
Formulación 2	122	Promedio	5,60	82,09
		CV (%)	1,97	1,18
Formulación 3	113	Promedio	6,10	77,92
		CV (%)	1,44	2,62

La humedad de las formulaciones varió entre 77,92% y 82,09% y el pH entre 5,57 y 6,10. De acuerdo con Chang, citado por Rodríguez y Jaramillo, 2005, las cepas de *Pleurotus* spp se desarrollan en rangos de pH entre 5 y 9.

Inoculación. Las condiciones climáticas ambientales promedio durante el proceso de inoculación fueron: Temperatura ambiente 30°C y Humedad relativa 70%.

Incubación. Durante esta etapa se registraron temperaturas promedio de 27°C y Humedad relativa del 79%. (Imagen 42).

Imagen 42: Disposición de las bolsas en incubación.



Fuente: La autora

Durante los primeros quince días de incubación se observó permanentemente la masiva presencia de gotas de agua en las bolsas negras, así como la humedad dentro de las bolsas transparentes, las que lucían empañadas totalmente, interpretando este fenómeno como un exceso de CO₂, se procedió a destapar las bolsas negras, sin retirarlas con el fin de liberar este gas y permitir la ventilación de las mismas, y así promover la invasión del micelio y posterior fructificación. (Imagen 43).

Imagen 43: Bolsas saturadas de humedad.



Fuente: La autora

Durante esta etapa se presentó una contaminación en el sustrato del tratamiento 2, cepa *Pleurotus sajor caju*, por larvas. Las unidades experimentales detectadas con la presencia de larvas se dejaron rotuladas especialmente bajo observación, se pretendía mirar con el pasar de los días a que organismo pertenecía la larva y cuál sería su comportamiento y efecto sobre el desarrollo del hongo inoculado.

Las observaciones hechas arrojaron los siguientes resultados.

Las larvas ante la elevación de la temperatura, la producción de vapor y gases dentro de las bolsas, emigraron del sustrato hacia las paredes internas de la bolsa negra terminando dentro de esta misma su estado larval a los 10 días, pasando a pupa y logrando el estado adulto a los 5 días siguientes. El insecto contaminante fue identificado como mosca común (*musca domestica*).

A pesar de la eliminación manual de varios individuos la contaminación persistió causando en las bolsas malos olores, provenientes de las larvas muertas por efecto del calor y gases. (Imagen 44).

Este inconveniente fue consecuencia de haber dejado uno de los costales fermentados del tratamiento dos, abiertos y expuestos al aire libre por tiempo prolongado.

Imagen 44: Contaminación por larvas de mosca común en el tratamiento 2.



Fuente: La autora

Por su parte una de las cepas *Pleurotus sajor caju* presentó contaminación por hongos del género *Penicillium* spp (imagen 45), detectada al momento de retirarla de su empaque para ser inoculada. Esta fue retirada del cuarto de incubación y eliminada a una compostera.

Imagen 45. Contaminación de semilla de *P. Sajor caju* con *Penicillium* spp.



Fuente: La autora

El crecimiento micelial se inició al tercer día de realizada la inoculación, en algunas de las bolsas, la invasión fue gradual en las repeticiones y no se dio en todas las unidades experimentales, algunas incluso nunca llegaron a colonizarse, y otras presentaron diferentes contaminaciones. En promedio la etapa tuvo una duración de 30 días. (Imagen 46)

Imagen 46. Colonización del micelio en la incubación.



Fuente: La autora

7.3.1. Contaminaciones presentadas durante la incubación. Las tres formulaciones presentaron diferentes contaminaciones durante la etapa de incubación. Las contaminaciones que se presentan en los cultivos de hongos son de dos tipos: endógena o exógena. (Bayona, et al., 1999). Endógeno: Cuando el microorganismo contaminante, está dentro del sustrato. Básicamente se da por un proceso de esterilización deficiente. Exógeno: Cuando la contaminación llega a los bloques durante las etapas posteriores a la esterilización. Puede ser durante la inoculación, la incubación y la fructificación. La investigación presentó ambos tipos. (Bayona, et al., 1999)

Hongos del género *Aspergillus* spp se presentaron desde la segunda semana de incubación, tomando aspectos fibrosos y de color amarillo con invasión total a los 25 días. (Imagen 47)

Imagen 47: Unidades experimentales de *P. Pulmonarius*, *P. sajor caju* y *P. florida* de la formulación 1 contaminadas con *Aspergillus* spp



Fuente: La autora

Otras unidades experimentales se contaminaron con hongos del género *Coprinus* (Imagen 48).

Imagen 48: Unidades experimentales contaminadas con *Coprinus* spp.



Fuente: La autora

Rodríguez y Jaramillo, 2005, expresan que los cuerpos fructíferos de *Coprinus* spp. indican un elevado contenido de nitrógeno en el sustrato o una inadecuada adaptación anaerobia. Y precisamente la formulación 1, que abarcó los 4 primeros tratamientos fue la que presentó la menor relación C/N, indicando con ello un mayor contenido de Nitrógeno respecto a la formulación 2 y 3.

Gea, 2001, reporta que la presencia de *Aspergillus* spp en los cultivos se ve favorecida por adecuaciones insuficientes del sustrato y por la falta de medidas higiénicas en las áreas de siembra e incubación. Suele aparecer en la superficie del sustrato, cuando se produce una condensación de humedad en la misma impidiendo así la fructificación normal de los carpóforos, tal como se presentó en la imagen 43. (Saturación de la humedad).

Fructificación. El cuarto de fructificación fue el mismo de incubación. La temperatura promedio fue de 27°C y la humedad relativa del 80%.

Las unidades experimentales presentaron los primeros primordios a los 25 días para las cepas de *P. ostreatus*, *P. sajor caju* (imagen 49) y *P. pulmonarius* (imagen 50), en la formulación 3 (Tratamientos 9, 10 y 11), siendo los más precoces. Luego se presentaron primordios a los 31 días en los tratamientos 5, 6 y 7 (Formulación 2). La cepa de *P. florida* presentó los primeros primordios a los 35 días en la formulación 3 (Tratamiento 12).

Imagen 49: Primordios de *P. ostreatus* y *P. sajor caju*.



Fuente: La autora

Imagen 50: Primordios de *P. pulmonarius*.



Fuente: La autora

Entre los 3 y 5 días después de la aparición de los primordios se cosecharon los hongos. En la (imagen 51) se presentan los cuerpos reproductores de *P. ostreatus* en las diferentes formulaciones.

Imagen 51: Cuerpos reproductores de *P. ostreatus*.



Fuente: La autora

En la (imagen 52) se presentan los cuerpos reproductores de *P. sajor caju* (Tratamiento 10) en la (imagen 53) se presentan los cuerpos reproductores de *P. pulmonarius* (Tratamiento 11) y en la en la (imagen 54) se presentan los cuerpos reproductores de *P. florida* (Tratamiento 12).

Imagen 52: Cuerpos reproductores de *P. sajor caju*.



Fuente: La autora

Imagen 53: Cuerpos reproductores de *P. pulmonarius*.



Fuente: La autora

Imagen 54: Cuerpos reproductores de *P. florida*.



Fuente: La autora

Los hongos cosechados se deshidrataron, tal como se muestra en la Imagen 55

Imagen 55: Hongos deshidratados de *Pleurotus* spp.



Fuente: La autora

Los datos de producción de cada uno de los tratamientos fueron registrados como se presentan en el anexo 5 y 6.

En las Tablas 6 y 7 se presentan los rendimientos, para cada una de las unidades experimentales de los tratamientos.

El cálculo de los rendimientos se realizó considerando el peso fresco total de los hongos cosechados dividido el peso seco del sustrato.

Tabla 6. Rendimientos Tratamientos 1 a 6.

Réplica	Rendimiento de los tratamientos (%)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	0,00	0,00	22,43	0,00	9,49	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	41,88	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	74,26	0,00
5	0,00	0,00	24,93	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	43,55	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	22,33	0,00
8	0,00	0,00	12,96	0,00	18,43	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	32,38	13,96
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	9,97	0,00	0,00	0,00	30,71	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	53,04	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	37,39	0,00	0,00	0,00	33,50	0,00
15	0,00	0,00	34,90	0,00	39,08	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	7,48	0,00	0,00	0,00	11,17	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	29,59	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	27,92	0,00

21	0,00	0,00	0,00	0,00	83,75	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	33,50	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	36,29	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	27,92	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 7. Rendimientos Tratamientos 7 a 12.

Réplica	Rendimiento de los tratamientos (%)					
	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	0,00	0,00	90,58	127,26	132,25	77,45
2	0,00	0,00	89,67	135,42	100,54	83,79
3	22,33	0,00	80,16	129,53	121,38	75,63
4	0,00	0,00	78,35	124,09	95,56	73,37
5	26,80	0,00	80,16	120,02	128,62	72,01
6	0,00	0,00	82,88	115,94	108,24	65,67
7	0,00	0,00	58,42	111,87	111,87	45,74
8	0,00	0,00	74,28	103,26	125,45	70,20
9	0,00	0,00	78,80	97,37	123,64	73,82
10	19,54	0,00	64,76	125,91	90,58	62,50
11	0,00	0,00	83,33	107,34	89,67	57,52
12	0,00	0,00	69,75	110,51	131,79	67,03
13	37,97	0,00	69,29	122,74	127,26	72,01
14	0,00	0,00	86,05	128,62	121,38	62,05
15	0,00	0,00	80,62	112,32	109,15	81,97
16	0,00	0,00	64,76	107,79	103,26	69,75
17	0,00	0,00	72,92	132,25	99,18	62,50
18	0,00	0,00	56,61	128,62	122,74	74,73
19	0,00	0,00	78,35	115,49	117,30	65,22
20	13,96	0,00	83,33	108,24	126,36	57,52
21	0,00	0,00	74,28	112,32	109,60	49,37
22	29,59	0,00	74,28	131,79	100,54	69,75
23	0,00	0,00	72,46	129,08	107,34	69,75
24	0,00	0,00	80,16	107,79	95,56	67,48
25	0,00	0,00	86,50	125,45	95,56	62,95

Los valores promedio de rendimiento, que fueron los mismos de eficiencia biológica promedio en los tratamientos de la formulación 3 (T9, T10, T11 y T12), dado que no se presentó contaminación, fueron mayores con la cepa de *Pleurotus sajor caju* (118,84%), seguidos de la cepa *Pleurotus pulmonarius* (111,79%), entre los cuales no se encontraron diferencias significativas a un nivel de significancia del 5%, pero si fueron diferentes estadísticamente de los demás tratamientos. El tratamiento 9 que fue inoculado con la cepa de *Pleurotus*

ostreatus presentó un rendimiento medio del 76,43%, el cual no fue estadísticamente diferente del tratamiento 12 que estuvo inoculado con la cepa de *Pleurotus florida*, pero estos sí fueron diferentes de los demás tratamientos.

Estos resultados permiten dar respuesta a la pregunta de investigación: “¿Qué tipo de formulación y qué especie de hongo comestible del género *Pleurotus* permite obtener los mejores rendimientos en un biosistema integrado de aprovechamiento de la cacota de algodón?. La respuesta es la formulación 3 que contenía 79% de cacota gruesa, 19% de cacota fina, 1% de carbonato y 1% de yeso. Y la mejor cepa: *Pleurotus sajor caju*.

Además, permite aceptar la primera parte de la hipótesis: “*Un biosistema integrado que involucre el cultivo del hongo Pleurotus sajor caju y la descomposición del sustrato agotado mediante la lombricultura, es el que permite obtener los mejores rendimientos de proceso para el aprovechamiento de la cacota de algodón*”

7.3.2. Comparación de los resultados obtenidos en esta experimentación y los reportados por Otros Autores

Titulo Trabajo	Autor	Sustrato	Especie.	Eficiencia biológica	Rendimientos	Precocidad/días
Cultivo de <i>Pleurotus pulmonarius</i> en pulpa de café.	Rodríguez y Zuluaga, 1994	Pulpa de café	<i>Pleurotus pulmonarius</i>	50,40%	3,6 Kg/m ²	
<i>Pleurotus ostreatus</i> cultivado en residuos de palma aceitera, como importante fuente proteica para la dieta humana.	Ramos, 2007.	Residuos de palma aceitera	<i>Pleurotus florida</i>	82%-100%	39,56%	20 a 30
Evaluación del desarrollo vegetativo y la producción de carpóforos de las cepas de los hongos <i>Pleurotus</i> spp. y <i>lentinula edodes</i> sobre varios residuos agroindustriales 2007	Montoya y Restrepo 2009	Tusa de maíz	<i>P. pulmonarius</i>	75,80%		
			<i>P. ostreatus</i>	55,65%		
Evaluación de la producción del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> cultivado sobre los residuos derivados de la producción comercial del culmo de la guadua <i>angustifolia kunth</i>	Martínez, 2008	Aserrín de Guadua.	<i>P. ostreatus</i>	9,20%	9,2%	26
Evaluación de algunos residuos orgánicos como sustratos para el cultivo de hongos comestibles	Garcés y Vélez, 2005	Pasto kikuyo, Maní Forrajero, vaina de frijol y cascarilla de algodón.	<i>P. ostreatus</i>	40,02%	400,25 g/kg de sustrato	
			<i>P. pulmonarius</i>	33,28%	332,75 g/kg de sustrato fresco	

Producción de <i>Pleurotus ostreatus</i> sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia	Garzón y Cuervo	Sobras de café con bagazo de caña de azúcar o con tallo de maíz	<i>Pleurotus ostreatus</i>	48,00%	0,905 kg/100Kg	31
Evaluación del crecimiento y reproducción de <i>Pleurotus ostreatus</i> sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca.	Hernández y López, 2008	Capacho de Uva	<i>Pleurotus ostreatus</i>	76,10%	7,43 kg/m ²	41
		Aserrín de roble		70,00%	6,84 kg/m ²	39
Rendimiento de <i>Pleurotus sajor-caju</i> en diferentes residuos de base agrícola.	Shauket Ahmed Pala, Abdul Hamid 2012	Paja de arroz	<i>Pleurotus sajor caju</i>	149,40%	747,1g / 500 g de peso seco	34
		Paja de trigo	<i>Pleurotus sajor caju</i>	124,70	623,7/500 g de peso seco	27
Cultivo de <i>Pleurotus sajor-caju</i> en diferentes substratos pasteurizados	E. Bernardi; J.S. Nascimento. Brasil	Paja de arroz	<i>Pleurotus sajor caju</i>	106,60%		45
El cultivo de <i>Pleurotus sajor -caju</i> en diferentes residuos agrícolas	Eustáquio Souza Érika M. S. 2003	Paja de Frijol	<i>Pleurotus sajor caju</i>	85,70%		
Biosistema Integrado para el Aprovechamiento de la cacota de Algodón en el Municipio de Aguachica Cesar.	Rocío Roperó Pallares, 2015.	Cacota de algodón	<i>Pleurotus sajor caju</i>	118,84%		25-30
			<i>Pleurotus pulmonarius</i>	111,79%		25-30

Como se observa en la tabla anterior, las eficiencias biológicas y los rendimientos medios del hongo *Pleurotus sajor caju* y *P pulmonarius* en sustratos de cacota de algodón alcanzan valores competitivos y promisorios, al nivel de sustratos ideales como la paja de arroz o la paja de trigo. Otra ventaja comparativa también la presenta la precocidad, pues la fructificación se obtiene en tiempos promedios reportados por otras investigaciones.

7.4. Resultados del objetivo específico N°4.

“Evaluar el rendimiento medio y el tiempo de proceso en la transformación del sustrato agotado de los hongos en abono orgánico mediante la lombricultura”.

En la Tabla 8 se presentan los resultados del proceso de lombricompostaje

Tabla 8. Resultados del proceso de lombricultivo

Días	Número de lombrices encontradas en el sustrato.			
	T1	T2	T3	T4
3	0	0	0	0
5	0	0	2	2
8	0	0	8	12
12	0	2	10	18
15	0	6	15	27
20	0	10	22	43
25	6	15	25	54
30	18	15	45	66
45	23	21	65	91
60	31	40	80	129
T1: Canasta con 100% de sustrato agotado de Cacota de algodón T2: Canasta con 70% de sustrato agotado de cacota de algodón y 30% de estiércol de bovino T3: Canasta con 50% de sustrato agotado de cacota de algodón y 50% de estiércol de bovino T4: Canasta con 100% de estiércol de bovino				Tamaño de la muestra: 2,5 kg

Los resultados condensados en la tabla 8, permiten concluir que pasados 20 días de generado los sustratos residuales del cultivo de hongos, estos adquieren las condiciones para la colonización por parte de las lombrices y que entre más cantidad de estiércol esté presente en el sustrato mayor es la tasa de colonización por parte de las lombrices.

A los 6 meses se observó la descomposición del sustrato constituido 100% por material agotado de cacota de algodón, mientras que la canastilla que contenía 100% estiércol de vacuno, presentó descomposición, por parte de las lombrices, a los 2 meses.

En cuanto al rendimiento medio, se tienen los siguientes datos: tamaño de la muestra de sustrato agotado a compostar 2,5 k. Peso del compost al término de 6 meses de 1,6 Kg, esto nos da un rendimiento del 64%. Es un muy buen resultado teniendo en cuenta que en la bibliografía se reporta que la lombriz expulsa el 60% de lo que ingiere en forma de humus.

Dado que el material expuesto a cielo abierto en los suelos aledaños a la empresa productora de cacota y con volteos periódicos tardó 11 meses para su descomposición, se puede inferir que una adecuada combinación de residuos vegetales con residuos animales aventaja el proceso de lombricompostaje, aceptando la segunda parte de la hipótesis de trabajo: *“Un biosistema integrado que involucre el cultivo del hongo Pleurotus sajor caju y la descomposición del sustrato agotado mediante la lombricultura, es el que permite obtener los mejores rendimientos de proceso para el aprovechamiento de la cacota de algodón”*

7.5. Resultados del objetivo específico N°5.

“Estimar el potencial del sustrato agotado como filtro depurador de las aguas residuales obtenidas en el proceso de fermentación de los sustratos, en la producción de hongos”.

Se caracterizó el agua utilizada antes y después de la fermentación de las formulaciones para determinar su grado de contaminación. Los resultados se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Caracterización del agua cruda y residual de la fermentación

Muestra	pH (unidades)	DQO (ppm)	Turbiedad (NTU)	Color (Un Pt-Co)	SST (ppm)	ST (ppm)
Cruda	7,14	61	12	58	10	255
Residual	6,14	2448	407	2080	320	2865

De acuerdo con los resultados obtenidos, condensados en la Tabla 9., se observa un incremento en todos los parámetros del agua residual, excepto el pH, respecto al agua inicial (cruda), evidenciando su contaminación, la cual se debe al arrastre de sustancias tanto disueltas como suspendidas, presentes en la cacota de algodón. El color pasó de valores de 58 a 2080 unidades de Co-Pt, mientras que la turbiedad pasó de 12 a 407 unidades nefelométricas.

Los gramos de DQO en el agua residual de las 3 formulaciones, fue de 3*690 L * 2,448 g/L = 5067g, equivalente a la contaminación que generarían en un día, en orina y excretas, 50 personas, estos datos reflejan la necesidad de

implementar sistemas de tratamiento de estos efluentes u optar por otro método de pasteurización menos contaminante.

En la Tabla 10 se presentan los resultados del proceso de filtración de las aguas residuales de la fermentación sobre el sustrato agotado del cultivo de los hongos.

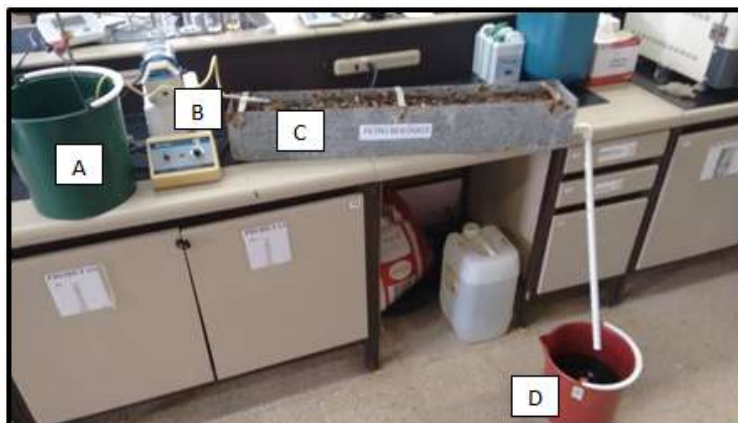
Tabla 10. Resultados del proceso de filtración

Muestra	Parámetro	pH (un.)	DQO (ppm)	Turbiedad (NTU)	Color (Un Pt-Co)	SST (ppm)	ST (ppm)
Residual		6,14	2448	407	2080	320	2865
Tratada	Promedio de 3 muestras	5,60	1913	225	2732	275	2528
	CV (%)	7,09	7,86	8,19	4,30	4,89	3,66
% Remoción		-	21,85	44,72	-	14,06	11,76

Los resultados condensados en la Tabla 10, permiten observar una disminución en las características fisicoquímicas como la DQO del orden del 21,85%, de los SST del orden del 14,06%, de los ST del orden del 11,76% y de la turbiedad del orden del 44,72%. Se podría presumir que el sustrato agotado alternado con otros materiales de características similares puede ser utilizado como filtro en un tratamiento primario de las mismas aguas residuales del proceso de fermentación.

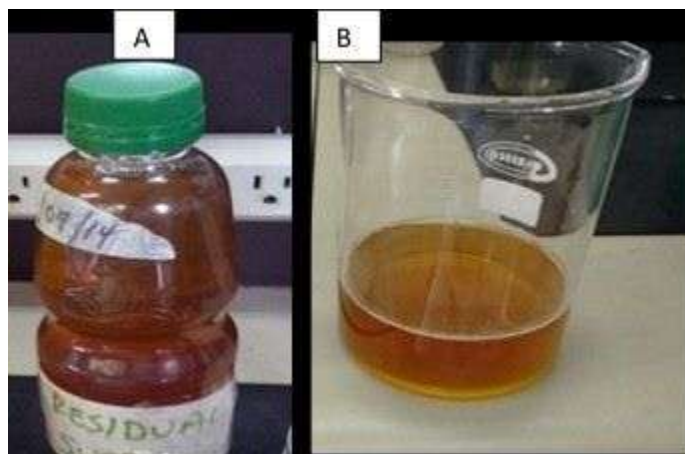
En la (Imagen 56), se muestra el proceso de filtración y en la (Imagen 57) el aspecto del agua a la entrada y salida del filtro.

Imagen 56. Aspecto del filtro biológico. A: Aguas residuales. B: Bomba peristáltica. C: lecho de sustrato agotado de cacota de algodón. D: Recipiente de agua filtrada.



Fuente la autora.

Imagen 57. Aspecto del agua. A. Sin filtrar. B. Filtrada



Fuente la autora.

8. CONCLUSIONES

Con base en los resultados de la eficiencia biológica y los rendimientos medios del cultivo de hongos del género *Pleurotus* en cacota de algodón, se concluye que la cacota en su estado natural (gruesa), constituye una excelente materia prima para la producción permanente de los hongos comestibles *Pleurotus sajor caju* y *Pleurotus pulmonarius* y no menos importante resultan las otras 2 especies evaluadas (*P. ostreatus* y *P. florida*).

La inadecuada disposición final de la cacota de algodón constituye una fuente contaminante, ya que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) generada por la cacota de algodón que no es aprovechada y que se dispone en el suelo o en el agua es de 316,465.413 gramos, equivalente a la contaminación que generaría, durante un año, una población de 8670 personas. Por lo que su aprovechamiento como Biosistema integrado es una alternativa sostenible.

Factores ambientales como la humedad relativa y la temperatura alcanzados en el tiempo de la investigación, en la zona, son ideales, no solo para el desarrollo de los hongos comestibles del género *Pleurotus* sp, sino también para otros organismos contaminantes, por lo que se requiere de una estricta asepsia y manejo técnico en las etapas de inoculación, incubación, y fructificación.

Es importante resaltar el potencial de los residuos agroindustriales como medios de cultivo para la producción de hongos del género *Pleurotus* sp, así lo evidencia la diversidad de materiales orgánicos y sus respectivos resultados referenciado en las diferentes publicaciones. La cacota de algodón posee una ventaja comparativa frente a otros residuos agrícolas al no tener que ser adecuada (picada, molida), ya que el tamaño de su partícula inicial es el ideal para la producción de hongos.

Aunque la preferencia de la lombriz roja californiana por el sustrato agotado del cultivo de hongos *Pleurotus* sp. sobre cacota de algodón fue baja, la incorporación de estiércol bovino a la cama, promueve la migración de la lombriz y el compostado de la materia prima se acelera, permitiendo disminuir a la mitad el tiempo de proceso.

El sustrato agotado del cultivo de *Pleurotus* sp, sobre cacota de algodón presenta propiedades filtrantes por ser un medio poroso, el cual retiene cantidades de sólidos en suspensión, por lo que podría usarse como lecho filtrante bajo el mecanismo de tamizado, dado que los resultados muestran reducciones de sólidos totales, DBO₅, turbiedad y separación del material flotante.

Un Biosistema integrado a base de cacota de algodón, para la producción de hongos comestibles, seguido del aprovechamiento del sustrato agotado en lombricultura y en el tratamiento de aguas residuales puede internalizar los costos ambientales de este sector agroindustrial y a su vez constituir una alternativa económica, social y ambiental para la región.

Las condiciones agroecológicas de la región favorecen la producción de hongos comestibles del genero *Pleurotus* sp, dados los resultados de rendimientos medios y eficiencia biológica, los cuales son muy competitivos referente a ensayos en otras localidades con sustratos ideales.

9. RECOMENDACIONES

Fomentar la cultura del consumo de hongos comestibles en la dieta alimenticia de los colombianos, valorizaría el aprovechamiento de residuos agroindustriales y se vislumbraría así una alternativa para la reducción de los efectos contaminantes de este sector.

Para el proceso de lombricultura se recomienda la incorporación de otra fuente orgánica, como los estiércoles de animales en proporciones mayores a la cacota de algodón, las cuales garantizan la permanencia de la lombriz.

Continúa siendo imperante fomentar la conservación de suelos y la utilización de compost en la región, para que se garantice la incorporación eficiente de este subproducto para el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos cultivados.

Las aguas residuales del proceso de fermentación del sustrato representan un alto grado de contaminación para el ambiente, por lo que deberá preverse un sistema de depuración de estas aguas.

El diseño de filtros en lechos con el sustrato agotado del cultivo de hongos, alternado con otros materiales adsorbentes, puede constituir una alternativa para disminuir las cargas contaminantes del agua residual de la fase de fermentación del sustrato, a su vez que acondiciona este sustrato agotado para su posterior compostaje, por lo que se recomienda continuar investigaciones referentes al uso del sustrato agotado.

A partir de los resultados de esta investigación se recomienda proyectar un estudio de mercado que fortalezca la idea de que “Un Biosistema integrado a partir del cultivo de hongos comestibles del genero *Pleurotus* sp, sobre residuos del cultivo del algodón puede constituirse en una alternativa económica, social y ambiental para la región”.

Bibliografía.

- Agamez et al., E. Y. (2008). Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma* sp. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10(2). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752008000200004&script=sci_arttext&tlng=es
- ALIMÉNTICA 5. (s.f.). *ALIMÉNTICA* 5(5). Obtenido de <http://avalon.utadeo.edu.co/dependencias/publicaciones/alimentica5.pdf>
- Arias et al., G. M. (2005). Biotransformacion de Residuos Lignocelulosicos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 36(Especial). Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/1812/181220525083.pdf>
- Asociacion cultural "Baxauri" Kultur elkarte. Mikologia. Bajauri. (2015). Obtenido de <http://www.fichasmicologicas.com/?micos=1&alf=P&art=163>
- Augstburger et al., F. (2000). (Naturland, Ed.)
- Bayona, et al., M. (1999). *Manual de laboratorio: microbiologia basica*. Santa fe de Bogota, Colombia: CEJA (Centro editorial javeriano).
- CENTA. (2008). MANUAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. *MANUAL DE DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES URBANAS*.
- Cho, S. B. (2005). INTRODUCCION A LOS HONGOS. En *MANUAL DEL CULTIVADOR DE HONGOS* (pág. 3). MushWorld.
- Cubillos , A. (s.f.). Parametros y caracteristicas de las aguas residuales. *Proyecto de desarrollo tecnologico de las instituciones de abastecimiento de agua potable y alcantarillado*, 31. Lima, Peru: CEPIS.
- Escobar, C. J. (1998). Tecnologia para la produccion de lombricompuesto.
- FAO Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. (2014). El Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo 2014. *FAO*. Obtenido de , disponible en <http://www.fao.org/publications/sofi/2014/es/>
- Foo, J. (2000).
- Gaitan, H. R. (2006). *Manual practico del cultivador de Setas*. Mexico: Insitituto de ecologia A.C.
- Garcés et al., A. M. (2006). Evaluación de algunos residuos orgánicos como sustrato. *REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN*, 2(2). Obtenido de

http://www.lasallista.edu.co/fxcu/media/pdf/Revista/vol2n2/p15-20_EVALUACION%20DE%20ALGUNOS%20RESIDUOS%20ORGANICOS.pdf

Gonzales, A. R. (7 de Junio de 2013). "Está amenazada la seguridad alimentaria en el mundo, advierten la OCDE y FAO". *La Jornada*, pág. 21. Obtenido de <http://www.jornada.unam.mx/2013/06/07/economia/021n1eco>

hongoscomestibles1.blogspot.com.co. (s.f.). Obtenido de <http://hongoscomestibles1.blogspot.com.co/2012/04/perspectivas-de-los-hongos-comestibles.html>

hongossenacaldas.blogspot.com.co. (s.f.). Obtenido de <http://hongossenacaldas.blogspot.com.co/>

<http://datateca.unad.edu.co/>. (s.f.). Recuperado el 30 de Julio de 2014, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358001/Material_didactico/leccin_30_campo_de_accin_de_la_ingeniera_ambiental_y_el_saneamiento_ambiental.html

<http://www.ads.pr.gov>. (s.f.). Obtenido de <http://www.ads.pr.gov/programas/residuos-organicos/composta/>

Instituto Cristiano de promocion campesina . (1998). *Materia organica*.

Kiely, G. (1999). *Ingenieria Ambiental*. España : Mc Graw Hill.

Kong, W.-S. (2005). Obtenido de <http://www.hongoscomestibles-latinoamerica.com/P/P/oyster%20bien/60.pdf>

Martinez, M. (2000). <http://www.tesisenred.net>. Obtenido de <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6488/04CAPITULO4.pdf?sequence=5>

Medina, E. M. (2012). Empleo de los sustratos residuales del cultivo de hongos comestibles como fertilizante orgánico y como medio de cultivo sin suelo. Elche, Alicante. Obtenido de <http://www.triptolemos.org/catalogo/tesis/empleo-de-los-sustratos-residuales-del-cultivo-de-hongos-comestibles-como-fertilizante-org%C3%A1nic>

Ministerio de Agricultura Chile. (2006). Manual de Lombricultura. *Cuaderno de divulgacion tecnica*. Chile.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de la Republica de Colombia. (2005). *Un campo para el Futuro*. Obtenido de Gestion Ambiental en el Sector Agropecuario: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/200972410236_cartilla_ambiental.pdf

- Montoya, S. A. (19 de Agosto de 2013). (Documento Conpes 3577) citado por Aurelio Suárez Montoya en su artículo "Colombia, campeón mundial en precio de fertilizantes". *El Espectador*. Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/colombia>
- Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Ecuador.
- Olmos. (2011).
- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental OEFA. (2014). www.oefa.gob.pe. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Pastorelli, D. (2006).
- PNUMA. (2001). www.pnuma.org. Obtenido de <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Manejo%20de%20Aguas%20Residuales.pdf>
- Poppe, J. (2005). *Manual del Cultivador de Hongos - Cultivo del Hongo Ostra*. (N. Curvetto, Trad.) República de Corea: MushWorld.
- Ramos, O. G. (2007). Pleurotus Ostreatus, cultivado en residuos de palma aceitera como importante fuente proteica en la dieta humana. Riobamba, Ecuador.
- Rodriguez & Preston. (1998).
- Rodriguez, N. (1999). Manejo de residuos en la industria cafetera. *Vitual Pro*, 10.
- Salas, H. (Agosto de 2014). Coalcesar. (R. Roper, Entrevistador)
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Bioteología*, 16(2). Obtenido de http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2012_2/Saval_Residuosagroindustriales.pdf
- Serna et al., C. (2010). Biosistemas integrados y sus interrelaciones con el desarrollo sostenible y el desarrollo humano y social.
- Sierra, H. J. (2002). Obtenido de <http://www.saber.es/web/biblioteca/libros/setas-cutilvadas/setas-cutilvadas.pdf>
- Sztern, D., & Pravia, M. (s.f.). *MANUAL PARA LA ELABORACION DE COMPOST BASES CONCEPTUALES Y PROCEDIMIENTOS*. Obtenido de <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PNGIRSU/file/Documentos/Bases%20conceptuales%20para%20la%20elaboracion%20de%20compost.pdf>
- The State of Food Insecurity in the World [SOFI]. (2013). Colombia, el país que más sufre hambre en la Alianza del Pacífico. *La República*. Obtenido de

http://www.larepublica.co/globoeconomia/colombia-el-pa%C3%ADs-que-m%C3%A1s-sufre-hambre-en-la-alianza-del-pac%C3%ADfico_74816

Usach, L., & Bencardini, J. (2005). *books.google.com.co*. Obtenido de <https://www.google.com.co/search?q=Tipo+de+cultivo+C3%A+El+periodo+vegetativo+o+ciclo+del+algodonero+pasa+por+tres+etapas+bien+diferenciadas+que+se+deben+tener+muy+en+cuenta+en+su+manejo%3A&oq=Tipo+de+cultivo+C3%A+El+periodo+vegetativo+o+ciclo+del+algod>

w.w.w.Enciclopedia de las tareas. net. (s.f.). Obtenido de <http://www.encyclopediadetareas.net/2010/08/clasificacion-de-los-hongos.html>

www.atcalsas.com. (s.f.). Obtenido de <http://atcalsas.com/normatividad/page/norma/norma/resolucion-631-de-2015>

www.compostandociencia.com. (2014). Obtenido de <http://www.compostandociencia.com/2014/12/residuos-de-algodon/>

www.cultivandohongos.blogspot.com.co. (s.f.). Obtenido de <http://cultivandohongos.blogspot.com.co/2010/02/que-son-los-hongos-saprofitos.html>

www.cyclusid.com. (s.f.). Obtenido de <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario>

www.dadateca.unad.edu.co. (s.f.). Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/contLinea/leccin_3_operaciones_del_tratamiento_primario_sedimentacin_flotacin_y_filtracin.html

www.inbio.ac.cr. (s.f.). Obtenido de <http://www.inbio.ac.cr/papers/hongos/generalidades.htm>

www.plntasdebiomasa.net. (s.f.). Obtenido de <http://www.plantasdebiomasa.net/index.php/que-es-la-biomasa>

www.setascolombia.webnode.com. (s.f.). Obtenido de <http://setascolombia.webnode.com.co/archive/news/>

ANEXOS

Anexo 1. HUMEDAD

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	Peso Inicial (Pi)	Peso Final (Pf)	% Humedad
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	1	3.0578	2.3086	24.50
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	2	3.0262	2.2445	25.83
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	3	3.0215	2.2323	26.12
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	4	3.0054	2.2275	25.88
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	5	3.0192	2.2170	26.57
					Promedio	25.78

Tabla 1. Porcentaje de humedad residuo de algodón compostaje sin moler de 11 meses

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	Peso Inicial (Pi)	Peso Final (Pf)	% Humedad
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	1	3.0532	2.196	28.08
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	2	3.0179	2.1882	27.49
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	3	3.0363	2.1893	27.90
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	4	3.0797	2.2656	26.43
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	5	3.0878	2.2586	26.85
					Promedio	27.35

Tabla 2. Porcentaje de humedad residuo de algodón compostaje molido de 11 meses

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	Peso Inicial (Pi)	Peso Final (Pf)	% Humedad
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	1	3.0168	2.6337	12.70
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	2	3.0878	2.6905	12.87
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	3	3.0957	2.6848	13.27
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	4	3.0913	2.7111	12.30
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	5	3.0382	2.6356	13.25
					Promedio	12.88

Tabla 3. Porcentaje de humedad residuo de algodón fresco molido de 0 días.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	Peso Inicial (Pi)	Peso Final (Pf)	% Humedad
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	1	1.4973	0.9883	33.99
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	2	1.4848	1.0685	28.04
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	3	1.5052	1.0177	32.39
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	4	1.4802	1.0221	30.95
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	5	1.5224	1.0523	30.88
					Promedio	31.25

Anexo 2. PH

Resultados

Tabla 4. Porcentaje de humedad residuo de algodón fresco sin moler de 0 días.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	pH
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	1	7.17
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	2	7.16
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	3	7.29
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	4	7.08
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	5	7.21
			Promedio	7.18

Tabla 5. pH del residuo de algodón compostaje sin moler de 11 meses.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	pH
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	1	7.42
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	2	7.39
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	3	7.31
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	4	7.48
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	5	7.44
			Promedio	7.41

Tabla 6. pH del residuo de algodón compostaje molido de 11 meses.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	pH
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	1	6.71
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	2	6.73
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	3	6.63
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	4	6.82
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	5	6.74
			Promedio	6.73

Tabla 7. pH del residuo de algodón fresco molido de 0 días.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	pH
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	1	7.68
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	2	7.66
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	3	7.70
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	4	7.65
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	5	7.62
			Promedio	7.66

Anexo 3. CENIZAS

Resultados

Tabla 8. pH del residuo de algodón fresco sin moler de 0 días.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	% Cenizas	% Materia Orgánica	% Carbono
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	1	46.6827	53.3173	30.9985
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	2	55.1037	44.8963	26.1025
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	3	46.5635	53.4365	31.0677
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	4	47.8296	52.1704	30.3316
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	5	55.3714	44.6286	25.9469
Promedios				50.3102	49.6898	28.8894

Tabla 9. % cenizas, % materia orgánica, y % de carbono residuo de algodón compostaje sin moler de 11 meses.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	%Cenizas	% Materia Orgánica	% Carbono
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	1	71.6480	28.3520	16.4837
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	2	69.3720	30.6280	17.8070
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	3	69.6450	30.3550	17.6483
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	4	68.5178	31.4822	18.3036
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	5	72.5765	27.4235	15.9439
Promedios				70.3518	29.6482	17.2373

Tabla 10. % cenizas, % materia orgánica, y % de carbono residuo de algodón compostaje molido de 11 meses.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	%Cenizas	% Materia Orgánica	% Carbono
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	1	31.1668	68.8332	40.0193
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	2	26.6759	73.3241	42.6303
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	3	29.2756	70.7244	41.1188
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	4	28.8078	71.1922	41.3908
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	5	30.2409	69.7591	40.5576
			Promedios	29.2334	70.7666	41.1434

Tabla 11. % cenizas, % materia orgánica, y % de carbono residuo de algodón Fresco molido de 0 días

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	%Cenizas	% Materia Orgánica	% Carbono
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	1	14.7577	85.2423	49.5595
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	2	12.7488	87.2512	50.7275
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	3	12.2688	87.7312	51.0065
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	4	13.7687	86.2313	50.1345
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	5	12.1242	87.8758	51.0906
			Promedios	13.1336	86.8664	50.5037

Tabla 12. % cenizas, % materia orgánica, y % de carbono residuo de algodón Fresco sin moler de 0 días.

Anexo 4. RELACION CARBONO NITROGENO

Resultados

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	HCL Muestra (ml)	NTK (ppm)	% Nitrógeno	Relación C/N
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	1	-	-	-	16.309
Residuo algodón compostaje	sin moler	11 meses	2	1.388	17714	1.771	
				Promedios	17714	1.771	

Tabla 13. % nitrógeno y relación carbono – nitrógeno, residuo de algodón compostaje sin moler de 11 meses.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	HCL Muestra (ml)	NTK (ppm)	% Nitrógeno	Relación C/N
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	1	1.122	14796	1.480	11.029
Residuo algodón compostaje	Molido	11 meses	2	1.332	16463	1.646	
				Promedios	15629.3	1.563	

Tabla 14. % nitrógeno y relación carbono – nitrógeno, residuo de algodón compostaje molido de 11 meses.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	HCL Muestra (ml)	NTK (ppm)	% Nitrógeno	Relación C/N
Residuo algodón fresco	Molido	0 días	1	1.570	20339	2.034	

Residuo algodón fresco	Molido	0 días	2	1.460	18309	1.831	21.291
Promedios					19323.9	1.932	

Tabla 15. % nitrógeno y relación carbono – nitrógeno, residuo de algodón fresco molido de 0 días.

Nombre de la muestra	Estado	Grado de maduración	Repetición	HCL Muestra (ml)	NTK (ppm)	% Nitrógeno	Relación C/N
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	1	0.916	11803	1.180	42.868
Residuo algodón fresco	sin moler	0 días	2	0.986	11760	1.176	
Promedios					11781	1.178	

Tabla 16. % nitrógeno y relación carbono – nitrógeno, residuo de algodón fresco sin moler de 0 días.

ANEXO 5. Datos de producción de los Tratamientos 1 a 6.

Réplica	Peso de los hongos cosechados (g)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	0	0	45	0	17	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	75	0
4	0	0	0	0	133	0
5	0	0	50	0	0	0
6	0	0	0	0	78	0
7	0	0	0	0	40	0
8	0	0	26	0	33	0
9	0	0	0	0	58	25
10	0	0	0	0	0	0
11	20	0	0	0	55	0
12	0	0	0	0	95	0
13	0	0	0	0	0	0
14	75	0	0	0	60	0
15	0	0	70	0	70	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	15	0	0	0	20	0
19	0	0	0	0	53	0
20	0	0	0	0	50	0
21	0	0	0	0	150	0
22	0	0	0	0	60	0
23	0	0	0	0	65	0
24	0	0	0	0	50	0
25	0	0	0	0	0	0

ANEXO 6. Datos de producción de los Tratamientos 7 a 12.

Réplica	Peso de los hongos cosechados (g)					
	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	0	0,0	200	281	292	171
2	0	0	198	299	222	185
3	40	0	177	286	268	167
4	0	0	173	274	211	162
5	48	0	177	265	284	159
6	0	0	183	256	239	145
7	0	0	129	247	247	101
8	0	0	164	228	277	155
9	0	0	174	215	273	163

10	35	0	143	278	200	138
11	0	0	184	237	198	127
12	0	0	154	244	291	148
13	68	0	153	271	281	159
14	0	0	190	284	268	137
15	0	0	178	248	241	181
16	0	0	143	238	228	154
17	0	0	161	292	219	138
18	0	0	125	284	271	165
19	0	0	173	255	259	144
20	25	0	184	239	279	127
21	0	0	164	248	242	109
22	53	0	164	291	222	154
23	0	0	160	285	237	154
24	0	0	177	238	211	149
25	0	0	191	277	211	139

ANEXO 7. Resultados de los análisis de varianza para los tratamientos.

TRAT 12

Number of observations 300

The GLM Procedure

Dependent Variable: RENDIM

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	11	588352.6203	53486.6018	502.17	<.0001
Error	288	30675.2018	106.5111		
Corrected total	299	619027.8221			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	RENDIM Mean
0.950446	29.97393	10.32042	34.43133

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr>F
Trat	11	588352.6203	53486.6018	502.17	<.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	11	588352.6203	53486.6018	502.17	<.0001
Trat	11	588352.6203	53486.6018	502.17	<.0001

The GLM Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for RENDIM

Type II error rate than REGWQ.

Alpha 0.05

Error Degrees of Freedom 288

Error Mean Square 106.5111

Critical Value of Studentized Range 4.66014

Minimum Significant Difference 9.6189

Means with the same letter are not significantly different.

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey	Grouping	Mean	N TRAT
A	118.841	25	10
A			
A	111.793	25	11

B	76.431	25	9
B	67.591	25	12
B			
C	25.952	25	5
D	6.008	25	7
D		25	
D	3.809	25	3
D		25	
D	2.193	25	1
D		25	
D	0.558	25	6
D		25	
D	0.000	25	8
D		25	
D	0.000	25	2
D		25	
D	0.000	25	4