

**DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN Y EL RENDIMIENTO EN CADA UNA DE
LAS ETAPAS PRODUCTIVAS DE LA SETA *Pleurotus ostreatus* (ORELLANA),
SEMBRADA EN TRES CLASES DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.**

**CATALINA MARIA ALZATE GIRALDO
GERLY JANETH CORONEL JAIMES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INSTITUTO DE EDUCACIÓN A DISTANCIA
PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2010

**DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN Y EL RENDIMIENTO EN CADA UNA DE
LAS ETAPAS PRODUCTIVAS DE LA SETA *Pleurotus ostreatus* (ORELLANA),
SEMBRADA EN TRES CLASES DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.**

**CATALINA MARIA ALZATE GIRALDO
GERLY JANETH CORONEL JAIMES**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de:
Profesional en Producción Agroindustrial**

**Director:
HERMINSUL DE JESUS CANO CALLE
Dr. Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INSTITUTO DE EDUCACIÓN A DISTANCIA
PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2010

A quien me regala un sol maravilloso en las mañanas. Me abraza con el aire que circula, me regala la maravillosidad de la naturaleza, quien llena mi corazón de amor, mi vida de fortaleza, me permitió conocer a su hijo Jesucristo y me rodea con personas excepcionales, quien me abraza y me hace sentir su amor en cada momento, a Dios.

A quien debo toda su dedicación, empeño, fortaleza, quien ha sido ejemplo de vida, quien no importa lo que pase siempre está ahí apoyándome, haciéndome barra, dándome su mano, su hombro y de ser necesario me impulsa con todas sus fuerzas para poder alcanzar mis sueños, quien me apoya incondicionalmente y a quien debo todo lo que soy, no creo que puedan existir suficientes palabras en el mundo para expresarte lo importante que eres para mí, eres motor en mi vida padre mío, para Tí padre José Antonio Coronel a quien amo con todas las fuerzas de mi corazón dedico este logro.

A quien con sus cuidados y dedicación logró que hoy me convirtiera en la mujer que soy, a mi madre y abuela que aunque no está con migo siempre llevo en mi corazón, Dios te bendiga madre querida, para Ti Carlina Coronel Maldonado gracias por todo lo que hiciste por mí.

Al hombre que amo, quien me brinda su apoyo, quien con su abrazo logra que vea todo de una forma más simple, quien me da fortaleza en los momentos que siento que flaqueo, quien con su ternura me ha cautivado día a día, quien hace mis días más felices y mis tristezas llevaderas, quien inunda de alegría y bellos sentimientos mi vida, a Ti Renson Geovani.

A mis tías por su cariño, apoyo, ejemplo, por su guía durante todos los días de mi formación, a quienes me han inundado de buenos consejos quienes me quieren y están con migo siempre, a ustedes Gerly Niño Coronel, Nubia Niño Coronel, Ludy Niño Coronel y Teresa Niño Coronel.

A mi hermanito José Manuel Coronel, hermoso niño inteligente a quien sé que Dios tiene para cosas grandes en el mundo, quien llena mi vida de alegría con sus juegos y risas, que mi Diosito te bendiga siempre mi niño querido, que guíe siempre tu camino que lo conozcas y te haga sentir siempre su amor.

Gerly Janeth Coronel Jaimes

Hay hombres que luchan un día
y son buenos.
Hay otros que luchan un año
y son mejores.
Hay quienes luchan muchos años
y son muy buenos.
Pero hay los que luchan toda la vida:
esos son los imprescindibles.

Bertolt Brecht

¡A quien más si no es a ti Diosito, solo tú que estas en mis secretos solo tú que has estado conmigo incondicionalmente...cuantas veces quise soltar tu mano y tú la apretaste mas y mas fuerte, cuantas veces te velaste conmigo sin dejarme desfallecer , cuantas veces secaste mis lagrimas con tu sagrado manto Oh virgen de Guadalupe...!

A ti que eres mi Ángel de la guarda, mi abuelita Soledad que no estás físicamente pero siempre recordare tus enseñanzas.

A mis padres por darmen solo lo necesario y enseñarmen que lo demás se conseguía con trabajo, honestidad, lealtad y persistencia; a mi hermana Luz Marina por su infinito amor, comprensión y apoyo incondicional; a mi hermano Gustavo por sus consejos de superación y por su confianza ineludible.

A mi novio por ser mi polo a tierra.

A todos y todas para quienes de una u otra manera hicieron posible este logro, les aseguro que esta será solo una meta más en mi montaña de ascensos académicos.

Catalina María Alzate Giraldo

AGRADECIMIENTOS

Hoy agradecemos una vez más al autor de nuestras vidas, de todo lo que existe y quien no nos ha dejado solas un segundo, por el contrario nos guía, nos ama y nos protege siempre, quien en su grandeza nos ha llenado de capacidades para poder cumplir nuestros sueños, quien desde su trono nos ha cuidado como las niñas de sus ojos, al ser más importante en nuestra vida...al Rey de Reyes y Señor de Señores a Dios.

Agradecemos de manera especial y sincera al Dr. Herminsul de Jesús Cano por aceptar nuestro proyecto y ser nuestro director. Su apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para guiar nuestras ideas han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este proyecto, sino también en nuestra formación como profesionales Agroindustriales. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre y oportuna participación.

Al Director de la escuela de biología Dr. Víctor Hugo Serrano Cardozo por permitirnos trabajar en las instalaciones donde se llevo a cabo nuestro proyecto y ser eje facilitador en todo el proceso; queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ing. José Arango por su apoyo incondicional su importante colaboración y el espacio que nos dio en su laboratorio al habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Jesús Ramírez por su apoyo incondicional, por sus ideas y aportes fundamentales durante todo el transcurso del proyecto.

Agradecemos de manera especial a Luz Yaneth Ariza Puentes Coordinadora Tecnología Agropecuaria y Producción Agroindustrial por su amabilidad y disponibilidad siempre durante toda la carrera, durante las cuales la tuvimos como soporte profesional y logístico para alcanzar los objetivos perseguidos.

Abelardo compañero y amigo cercano a nuestro proyecto quien siempre estuvo incondicional facilitando los recursos necesarios, 24 horas siete días a la semana.

A CENICAFE y arrocería San Cristóbal, por facilitarnos los residuos los cuales fueron objeto de estudio en el presente proyecto.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para nuestras familias. Sin su apoyo, colaboración y paciencia no habría sido imposible llevar a cabo nuestra carrera profesional. Quienes siempre confiaron en nuestra profesión y siempre estuvieron en este proyecto incondicionalmente y a los cuales nunca

podremos defraudar, por su apoyo constante a nuestros padres: Beatriz Giraldo, Luis Eduardo Alzate y José Antonio Coronel por sus ejemplos de lucha, persistencia, honestidad y tenacidad, por su respaldo y amor, por su guía y sus enseñanzas y por muchas cosas más; a nuestros hermanos y nuestras tías por sus consejos de superación los cuales siempre nos depositaron su confianza respaldo y seremos siempre su orgullo.

A nuestras parejas personas maravillosas a las que amamos, quienes sin proponérselo se convirtieron en eje fundamental de este proyecto por ser las personas que han compartido a nuestro lado, nos han apoyado, han celebrado los buenos resultados y nos han dado ánimo en los momentos difíciles, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas, la tristeza se transforma en alegría y la soledad no existe; y por siempre creer en nosotras y en este proyecto.

Para mi compañera y amiga incondicional de vida y de proyecto Gerly Coronel debo agradecerle por su dedicación esfuerzo por nunca dejarme resbalar por mas tropiezos que se nos presentaran; porque ha compartido conmigo los “ires y venires” en el plano personal durante toda la carrera.

A mi compañera Catalina Alzate, amiga y compañera de aventura, de sueños, de alegrías compartidas y de tristezas pasajeras con quien hemos crecido en el ámbito personal y profesional durante todos estos años de amistad.

Este proyecto, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de nosotras y el director, no hubiese sido posible su finalización sin el aporte desinteresado y formación de nuestros docentes, compañeros de carrera y cada una de las personas que de una u otra manera participaron en el, para todos y todas muchas gracias y DIOS LOS BENDIGA.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. MARCO DE REFERENCIA	28
1.1 MARCO CONTEXTUAL	28
1.2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	30
1.2.1 Generalidades	30
1.2.2 Emisiones a la atmósfera	30
1.2.3 Lignocelulosa	31
1.2.4 Celulosa	32
1.2.5 Hemicelulosa	32
1.2.6 Lignina.	32
1.2.7 Métodos de Tratamiento de los Residuos Lignocelulósicos	33
1.2.8 Caña de azúcar para panelera (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	34
1.2.9 El café (<i>Coffea</i>)	37
1.2.10 La planta de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	39
1.2.11 Setas	43
1.2.11.1 <i>Pleurotus ostreatus</i>	46
1.3 MARCO CONCEPTUAL	55
1.4 MARCO GEOGRÁFICO E HISTÓRICO	60
1.5 MARCO LEGAL	63
2. DISEÑO METODOLOGICO	68

2.1 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	91
2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES	91
2.2.1 Variable Independiente	91
2.2.2 Variables Dependientes	91
2.3 POBLACIÓN OBJETIVO	92
2.4 SELECCIÓN DE LA MUESTRA	93
2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	95
2.5.1 Análisis para la evaluación de la primera variable dependiente: Tiempo de colonización del sustrato	95
2.5.2 Análisis para la evaluación de la segunda variable dependiente: Tiempo de fructificación.	105
2.5.3 Análisis para la evaluación de la tercera variable dependiente: Cantidad de setas producidas en gramos por kilogramo de sustrato	108
2.5.4 Análisis para la evaluación de la cuarta variable dependiente: Cantidad de setas producidas en cada uno de los tratamientos	111
2.5.5 Análisis para la evaluación de la quinta variable dependiente: Determinación del tamaño de setas en centímetros producidas con base en el sustrato utilizado	114
2.5.6 Análisis para la evaluación de la sexta variable dependiente: Eficiencia biológica	116
2.5.7 Análisis para la evaluación de la séptima variable dependiente: Productividad	117

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	121
4. CONCLUSIONES	128
5. RECOMENDACIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	133

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Contenido de lignina y celulosa en los sustratos sólidos empleados.	35
Tabla 2. Composición química de la caña de azúcar entera.	37
Tabla 3. Valor nutricional del arroz	40
Tabla 4. Caracterización de los subproductos para el cultivo de pleurotus spp	42
Tabla 5. Producción mundial de hongos comestibles cultivados de mayor producción en diferentes años	59
Tabla 6. Producción estimada de pleurotus ostreatus en algunos países de américa	61
Tabla 7. Datos obtenidos en los diferentes tratamientos realizados en cada una de las fases de la producción de la seta pleurotus ostreatus	94
Tabla 8. Días de colonización de las réplicas en cada uno de los tratamientos	96
Tabla 9. Presentación modelo de datos para un experimento bajo un diseño completamente al azar.	96
Tabla 10. Organización inicial de la información días de colonización	96
Tabla 11. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el f calculado de la etapa de colonización	97
Tabla 12. Puntos porcentuales de distribución f_0 , para un nivel de significancia de 0.05	101
Tabla 13. Rangos significativos para la prueba de rangos múltiples de duncan, para un nivel de significancia de 0.05	104

Tabla 14. Organización inicial de la información análisis días de fructificación	106
Tabla 15. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el f calculado análisis días de fructificación	106
Tabla 16. Organización inicial de la información cantidad de setas en gramos producidas en cada replica	109
Tabla 17. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el f calculado cantidad de setas en gramos producidas en cada replica	109
Tabla 18. Organización inicial de la información cantidad de setas producidas	111
Tabla 19. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el f calculado cantidad de setas producidas	112
Tabla 21. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el f calculado tamaño de setas en cada replica.	115
Tabla 22. Productividad del sistema	117

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema radicular caña panelera.	35
Figura 2. Tallos de caña y su diferenciación.	36
Figura 3. Ciclo de desarrollo de una seta.	44
Figura 4. Estructura de una seta.	44
Figura 5. Estructura pleuroma <i>Pleurotus ostreatus</i>	50
Figura 6. Estructura himenio <i>Pleurotus ostreatus</i>	50
Figura 7. Estructura lamina <i>Pleurotus ostreatus</i>	51
Figura 8. a) cañicultores en extracción de jugo de caña. b) bodega de bagazo de caña. c) bagazo de caña molido	69
Figura9. A) fruto de café. b) pulpa de café	70
Figura 10. Pulpa de café en proceso de secado.	71
Figura 11. a) Proceso de esterilización. b) Autoclave. c) Manómetro a 15 libras de presión y 120°C	73
Figura 12. Semilla colonizada por <i>Pleurotus ostreatus</i> .	74
Figura 13. a) Semilla pleurotus ostreatus b) laboratorio de siembra. c) pesaje de semilla. d) sustrato inoculado en bolsa. e) filtro utilizado en los tratamientos	76
Figura 14. a) bagazo de caña colonizándose en fase de incubación. b) bagazo de caña colonizado. c) pulpa de café colonizada. d) tamo de arroz colonizado	77

Figura 15. a) b) c) d) setas iniciando la fase de fructificación en los diferentes sustratos e) f) g) h) i) j) k) l) m) n) ñ) o) p) setas en los diferentes sustratos completamente desarrolladas listas para cosechar 80

Figura 16. a) Medición diámetro de la seta. b). setas clasificadas y empacadas 83

RESUMEN

TÍTULO

DETERMINACIÓN DE LA EVOLUCIÓN Y EL RENDIMIENTO EN CADA UNA DE LAS ETAPAS PRODUCTIVAS DE LA SETA *Pleurotus ostreatus* (ORELLANA), SEMBRADA EN TRES CLASES DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.

AUTORES

ALZATE GIRALDO, Catalina Maria
CORONEL JAIMES, Gerly Janeth **

PALABRAS CLAVES

Bagazo de caña, Pulpa de café, tamo de arroz, *Pleurotus Ostreatus*, setas, carpóforos, micelio.

DESCRIPCION

En esta investigación se analizó el desarrollo y evolución en cada una de las etapas productivas: incubación, fructificación y cosecha de la seta *Pleurotus ostreatus* cultivada en tres tipos de residuos agroindustriales representativos en Santander: Bagazo de Caña, Pulpa de Café y tamo de arroz (tratamientos). Con el fin de presentar una alternativa viable para el uso de los residuos de origen lignocelulósico minimizando de esta forma el impacto ambiental generado por el destino que se le da actualmente a los residuos.

Con el fin de identificar el sustrato más óptimo para el cultivo de la seta y generar datos comparativos hasta el momento no existentes en la región, se realizaron 5 repeticiones por cada tratamiento, sometidos bajo las mismas condiciones, diferenciándose únicamente la variable a identificar, es decir el sustrato utilizado. Se evaluaron variables como días de incubación y fructificación, tamaño de los carpóforos, cantidad de carpóforos por kilogramo de residuo y eficiencia biológica.

Como resultado del análisis, se comprobó que el residuo que presenta mayor productividad es el bagazo de caña de azúcar y en su orden pulpa de café y tamo de arroz; comprobando la viabilidad del bagazo de caña y pulpa de café para el cultivo comercial de la seta, el tamo de arroz no arrojó resultados que viabilicen el uso del residuo para la producción de la seta; además, se comprobó que existe relación indirecta entre el porcentaje de lignina y la productividad.

Para concluir, se propone presentar las setas clasificadas por tamaño en bandejas y con manual de recetas, impulsando los beneficios nutricionales del consumo de las mismas incentivando de esta forma su comercialización.

* Proyecto de Investigación

** Programa de Producción Agroindustrial. Instituto de Educación a Distancia. Director: química Herminsul de Jesús Cano.

SUMMARY

TITLE:

DETERMINATION OF THE STATUS AND PERFORMANCE IN EACH STAGE PRODUCTION OF MUSHROOM *Pleurotus ostreatus* (ORELLANA) sown in THREE KINDS OF AGRO-INDUSTRIAL WASTE^{*}.

AUTHORS:

ALZATE GIRALDO, Catalina María
CORONEL JAIMES, Gerly Janeth^{**}

KEYWORDS:

Cane bagasse, coffee pulp, rice husks, *Pleurotus ostreatus* mushrooms, fruiting bodies, mycelium.

DESCRIPTION:

This research analyzes the development and evolution in each of the production stages: incubation, fruiting and harvesting of the mushroom *Pleurotus ostreatus* grown in three types of representative agro-industrial residues in Santander: sugar cane bagasse, coffee pulp and rice husks (treatments). In order to present a viable alternative to the use of waste lignocellulosic origin thus minimizing the environmental impact caused by fate to be present given to waste. In order to identify the most optimal substrate for mushroom cultivation and generate comparative data so far do not exist in the region, there were five replications per treatment, subjecting them under the same conditions, differing only in identifying the variable is that the substrate used. Variables were assessed as days of incubation and fruiting, fruit bodies size, number of sporocarps per kilogram of waste and biological efficiency.

As a result of the analysis, it was found that the residue has higher productivity is the sugar cane bagasse pulp and order coffee and rice husks, proving the feasibility of bagasse pulp and coffee for the commercial cultivation of mushroom, rice chaff no results which could permit the use of waste for mushroom production, also found that indirect relationship exists between the percentage of lignin and productivity.

* Project of Investigation

** Program of Agroindustrial Production. Institute of Education distantly. The director Herminsul de Jesús Cano

INTRODUCCIÓN

A través de la historia el hombre ha generado por su actividad económica, sistema socio-cultural y familiar, una variedad de residuos que son contaminantes para el medio ambiente entre los que se encuentran los residuos de la actividad agrícola y agroindustrial; esta situación, ha desencadenado que en aras de vivir en equilibrio con la naturaleza, y motivando la creatividad en el desarrollo de alternativas que permitan utilizar estos residuos y obtener beneficios, se busquen propuestas para solucionar el problema ambiental y minimizar las emisiones al medio, proporcionando ventajas no solo ambientales sino también económicas, laborales, sociales, entre otras.

Debido a la alta producción de contaminantes a nivel general y específicamente residuos de origen agrícola y agroindustrial a nivel mundial, es importante destacar los crecientes esfuerzos de la comunidad científica por solucionar esta situación y no ser testigos de la destrucción del planeta y por ende de toda forma de vida, además del proceso de decaimiento de todo lo actualmente existente. Pero, ¿Qué hacer con la sobreproducción de residuos agroindustriales?

En la actualidad, algunos residuos agroindustriales están siendo utilizados como combustible en las calderas, caso del bagazo de caña de azúcar y otros residuos, o son quemados en terreno abierto, lo que genera gases contaminantes en la atmósfera generando consecuencias que podrían ser irreversibles; otros residuos son enterrados, lo que ocasiona que el tiempo de descomposición de la lignina, celulosa y hemicelulosa sea más prolongado, además de generarse lixiviados que contaminan las aguas subterráneas e incrementan los microorganismos existentes en el lugar, generando un desequilibrio ecológico en la población microbial; también son arrojados a las fuentes hídricas lo que altera completamente la actividad biológica de los organismos existentes en las zonas acuícolas. Algunos residuos son utilizados en otros procesos, es el caso del tamo de arroz que es

utilizado en la industria avícola como suelo en los galpones, pero este aprovechamiento no utiliza toda la sobreproducción existente en la región.

Uno de los sistemas incorporados abalados por la reingeniería ambiental consiste en el uso y aprovechamiento de los residuos de los procesos industriales agrícolas mediante la aplicación de biotecnología dando un valor agregado a los residuos vertidos sobre zonas aisladas de los focos urbanos, emisiones de carga gaseosas debido al mal tratamiento de los residuos y vertimientos en las fuentes de agua. Esta tecnología articulada en su amplia gama de posibilidades permite brindar alternativas ecológicas que se traducen en beneficios económicos para quienes realizan los procesos de transformación de productos naturales en productos de consumo humano industrializados. Solo hasta hace algunas décadas se ha incorporado lo que hoy en día se conoce como tecnología de producción más limpia; lo que permite sistemas de producción lucrativos y con mínimas consecuencias con el sistema ecológico.

Es claro que se cuenta con un problema ambiental generado por la disposición inadecuada que la mayoría de las veces se da a los residuos agrícolas y agroindustriales; por lo tanto a nivel mundial se generan alternativas de uso de los mismos, una de ellas es utilizar estos residuos como sustrato para la producción de hongos comestibles, los cuales son fuente proteínica importante debido a su composición lo que los convierte nutricionalmente en apetecibles en un mercado además de sus características organolépticas.

Ante lo expuesto, con el presente trabajo se propone generar una alternativa ambiental con el aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales representativos en el departamento de Santander como los mencionados para la producción de una fuente proteínica importante, la cual cuenta con características y propiedades que además de ser una alternativa económica entre otras ventajas se considere una excelente alternativa nutricional, específicamente la producción

de la seta *Pleurotus ostreatus*. La literatura menciona la siembra de esta seta en diferentes sustratos, todos de composición lignocelulósica; evaluando esta situación, se produjo la seta en residuos como el bagazo de caña de azúcar, pulpa de café y tamo de arroz los cuales son importantes en la industria Santandereana y que nos permite determinar el de mayor rendimiento en el momento de industrializar la producción de la seta. Nos permite además tener una fuente alternativa de proteína, minimizar el impacto ambiental ocasionado por residuos agrícolas y agroindustriales al permitir utilizar el sustrato después de la cosecha en alimentación caprina y compostarlo para utilizarlo como biofertilizante.

Se puede agregar que se cuenta con un problema ambiental y una posibilidad de utilización de estos residuos como sustrato para producción del hongo *Pleurotus ostreatus*; pero, considerando que lo ideal es la conformación de empresa con la producción de esta seta, se debe obtener datos cuantitativos, los cuáles generen un resultado confiable en el momento de industrializar el proceso para determinar si es económicamente viable. Por lo anterior, aunque existen variedad de residuos aptos para la producción de la seta, observando desde el ángulo económico se obtuvieron resultados con respecto a cuál de los residuos utilizándolos como sustrato y bajo las condiciones de la región, genera ventajas en productividad, eficiencia biológica y características de la seta lo cual facilite la posterior comercialización y genere ventajas competitivas al tener mayor rendimiento.

Además, Analizando la situación alimenticia, los niveles de desnutrición a nivel mundial, crean la necesidad de generar opciones alimenticias ricas nutricionalmente; por lo que, evaluando las condiciones se cuenta con la problemática ambiental generada por el mal uso de los residuos agrícolas y agroindustriales, con un problema de déficit nutricional, además de las dificultades económicas de la cual son víctimas millares de personas en Colombia y específicamente en Santander.

Si evaluamos la producción de residuos generados en Santander que no son tratados y generan consecuencias en el medio ambiente, salud humana y animal; se encontrará un grave problema pero también una oportunidad de utilizar estos residuos en múltiples procesos que minimicen las consecuencias de esta carga contaminante al medio. Se debe tener claro que Santander es un departamento en el cual entre sus principales actividades se encuentra la actividad agrícola, y además de ser un deber es una obligación individual y colectiva implementar métodos de producción más limpia en nuestros sistemas productivos, prueba de esto se refleja en la normatividad ambiental vigente como la Ley 99 de 1993 Por la cual se crea el ministerio del medio ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, en su Art. 1 dice: numeral 1. El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo. 2. La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible. Además, el Art. 3 dice: Del Concepto de Desarrollo Sostenible. Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades. Además en la normatividad internacional se encuentra el protocolo de Kioto el cual tiene por objetivo reducir las emisiones de gases provocadores del calentamiento global.

Por lo anterior, es claro que optimizar los residuos de toda índole y específicamente hablando agrícolas y agroindustriales es nuestra responsabilidad debido a que se está presentando una problemática que la normatividad obliga a solucionar, además de la ética del productor; pero, qué hacer con estos residuos agrícolas y agroindustriales, en primera instancia para determinar qué uso se les

puede dar a los mismos debemos conocer que los residuos agrícolas y agroindustriales en su gran mayoría están compuestos por lignina, celulosa y hemicelulosa.

Conociendo esto y basándose en la literatura se encuentra que en la naturaleza existen variedad de organismos que degradan este material, entre estos organismos se encuentran los hongos lignocelulosicos, por otro lado, para crear una ventaja nutricional y económica entre este grupo de hongos se encuentran los hongos comestibles, que proporcionan además de un residuo final degradado una fuente proteica de excelente calidad, pero es preciso analizar las condiciones ambientales de la región, tipo de residuos existentes, características del hongo y se obtiene que el *Pleurotus ostreatus* cumple con las condiciones para degradar el material vegetal; proporcionar una fuente de proteína rica en minerales, aminoácidos esenciales; generar ingresos en la actividad económica agrícola y agroindustrial, generar empleo entre otras ventajas.

El departamento de Santander, cuenta con una producción importante de residuos agrícolas y agroindustriales, los cuáles analizando sus características físicas y químicas pueden ser utilizados como sustratos para la producción de la seta *Pleurotus ostreatus* entre otras; pero, dentro de los residuos más representativos en la región, ¿cuál es el más viable para la producción de la seta? ¿Cuál genera mayor rentabilidad? ¿Cuál tiene mayor eficiencia biológica? El presente proyecto se encamino a determinar cuál es el sustrato del que se pueden obtener mayores ventajas económicas y ambientales con base en las características del producto y la eficiencia biológica. En la actualidad, no sé cuenta con un estudio en la región en donde nos proporcioné datos sobre las ventajas comparativas entre los tres sustratos a utilizar: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café. Por lo tanto, es importante discernir esta información, pues hablando desde el punto de vista empresarial se debe cuidar el rendimiento productivo y por ende optimizar el uso del residuo de una forma económicamente viable.

Por lo anterior, teniendo como base el tiempo de producción en cada una de las etapas productivas (incubación, fructificación y cosecha), las ventajas como tamaño, color, cantidad de carpóforos por bolsa cultivada y eficiencia biológica producen datos que son importantes definir en una fase laboratorio antes de empezar a una etapa de inversión, pues comenzar con la producción de la seta sin definir cuáles son las alternativas en sustrato más viables para la producción sería un error empresarial fatal, y podría llegar a ser una producción ambientalmente óptima pero no sustentable desde el punto de vista empresarial.

Cabe destacar que llegamos a un punto crítico del sistema, pues se sabe que se cuenta con residuos que pueden ser utilizados en producción de hongos comestibles, pero aun no sé sabe cuál de estos residuos utilizándolos como sustratos en las condiciones ambientales de la región genere una rentabilidad que conlleve a que valga la pena el esfuerzo y la inversión al darle la disposición a los residuos como sustrato para la producción de la seta además de implementar el sistema de producción más limpia; se debe tener claro que todo proyecto productivo requiere inversión, por lo que se hace indispensable la planificación inicial y evaluación para la posterior inversión; por lo que al hablar de una posible oportunidad empresarial con múltiples beneficios, es importante analizar cada una de las variables que puedan incurrir en el éxito o fracaso de cada uno de los objetivos trazados. Por lo anterior la importancia de definir comparativamente las ventajas generadas por cada sustrato.

Para verificar lo anterior, infortunadamente en la región no se encuentran datos comparativos con relación a la producción de la seta en los tres sustratos (tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café), lo cual es un problema en el momento de definir el sustrato a utilizar a nivel productivo-empresarial, pues al realizar una inversión se debe realizar previamente pruebas en fase laboratorio y piloto que conlleven a minimizar riesgos en el momento de realizar la inversión, pues como es de conocimiento general, si se desea el éxito de la empresa se debe garantizar

el cuidado del ambiente pero asegurando el mayor rendimiento posible. Para definir lo expuesto se deben obtener datos cuantitativos que nos permitan realizar un estudio con un resultado confiable con base en variables como el tiempo de producción, tamaño de la seta, eficiencia biológica, las cuáles conllevan a concretar el éxito futuro de la empresa productora de hongos del género *Pleurotus ostreatus*. Para cumplir estos propósitos teniendo claro la necesidad y ventajas que genera la producción de la seta en residuos agroindustriales producidos en Santander se planteó como objetivo general Determinar la evolución y rendimiento de la seta *Pleurotus ostreatus* en cada una de las etapas productivas en tres tipos de residuos agroindustriales: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café, para la producción de la seta minimizando de esta forma el impacto ambiental. Y como objetivos específicos: Evaluar la invasión y/o colonización del micelio en el sustrato en la etapa de incubación, determinar el tiempo de fructificación de la seta con cada sustrato y las características en cuanto a cantidad y tamaño de los carpóforos producidos con cada sustrato, determinar la mejor eficiencia biológica, establecer el sustrato que proporciona mayor índice de productividad y realizar un estimativo de la rentabilidad con base en los sustratos utilizados. Para el cumplimiento de lo anterior, la investigación se realizó en un periodo de tiempo de 5 meses en donde con diferentes pruebas se busca obtener datos cuantitativos de la producción de la seta en los diferentes sustratos.

Además de las ventajas mencionadas, es importante destacar los impactos cognitivos, sociales y ambientales generados con la investigación realizada, entre los cuáles se encuentra la obtención de datos comparativos de la producción de la seta *Pleurotus ostreatus* en los diferentes sustratos utilizados (bagazo de caña, pulpa de café, tamo de arroz y/o opcional cacota de cacao), documentación sobre la mejor eficiencia biológica del *Pleurotus ostreatus* con relación a los sustratos, recopilación de los datos y la metodología con respecto al proceso productivo en cada una de las etapas de producción: incubación, fructificación y cosecha, con cada uno de los sustratos; además el impacto social y ambiental en donde se

proporcionan opciones alternativas de producción al sector agrícola y/o agroindustrial, es decir desarrollo productivo, una alternativa de generación de empresa para jóvenes y/o madres cabezas de familia, generación de empleo. Mencionando los impactos de tipo social y los encaminados a solucionar directamente la problemática planteada se encuentra como los principales impactos la minimización de los gases contaminantes emitidos a la atmósfera por la quema de algunos residuos agrícolas y agroindustriales, implementación de sistemas de producción más limpia, posible uso del sustrato después de la cosecha de la seta como fertilizante y/o alimentación animal, lo anterior con base a la bibliografía, minimizar vertientes de lixiviados ocasionados por la acumulación de los residuos, utilización de residuos de los cuales existe sobreproducción.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 MARCO CONTEXTUAL

En Santander como resultado de su actividad económica, son muchos los residuos que se producen en la capital santandereana y cada uno de los municipios que componen Santander.

El Estado Soberano de Santander fue creado el 13 de mayo de 1857, con 101 distritos parroquiales y 392.840 habitantes, fortaleciendo la autonomía y soberanía de las Provincias; sin embargo, el 14 de junio de 1910 el territorio del Gran Santander fue fraccionado creándose los departamentos de Santander del Sur y Norte de Santander. En la actualidad y según lo establece la Constitución de 1991, Santander se constituyó en entidad territorial y está conformada por seis provincias, 87 municipios, un área metropolitana y un buen número de corregimientos. El nombre del Departamento fue concedido en honor al prócer Francisco de Paula Santander.

Santander del Sur está localizado al nororiente del país, sobre la cordillera Oriental y el valle del Magdalena. Cuenta con 30.537 km² y limita con los departamentos del Cesar, Norte de Santander, Boyacá, Antioquia y Bolívar. Su territorio se divide aproximadamente por la mitad en dos grandes regiones: al occidente la llanura del Río Magdalena, de relieve plano a suavemente ondulado y clima cálido y húmedo; al oriente la vertiente occidental montañosa de la cordillera Oriental, surcada por profundos cañones y caracterizada por climas variados – templados. Fríos y paramunos – generalmente de tendencia seca.

Como se puede observar, gracias a las diferencias topográficas y la variedad de climas, Santander tiene el potencial para producir muchas variedades de productos agrícolas, de donde se obtiene como resultado además del producto a sacar, cantidad de residuos de composición lignocelulolítica que pueden ser

aprovechados en otro tipo de tratamientos, entre estos puede ser la producción de hongos comestibles.

Aspectos Económicos. Aunque en el pasado la economía del departamento fue fundamentalmente agropecuaria, en los últimos decenios ella ha venido derivando en forma continua hacia el sector de los servicios y el sector industrial. Las actividades agropecuarias representan casi la cuarta parte del PIB.

Entre los servicios el más importante es el comercio, seguido del transporte y las comunicaciones. La industria se ha desarrollado en dos regiones principales: Barrancabermeja, donde se lleva a cabo la refinación de la mayor parte del petróleo que consume el país, junto con la fabricación de muchos de sus derivados. La otra región, Bucaramanga – Piedecuesta, desarrollada alrededor de los sectores alimenticios y bebidas, metalmecánica, textiles y cemento. Entre las actividades agrícolas el café, la caña panelera (segundo productor nacional), la yuca, el plátano, el maíz, el arroz, la papa y el cacao (primer productor nacional) son los cultivos principales. La ganadería vacuna tiene también una considerable importancia. La explotación forestal y la pesca tiene lugar especialmente en la región de Casanare – Opón, al sureste del departamento. Los principales renglones mineros son el petróleo, el carbón, el oro, la plata, las calizas, el yeso y otros¹.

Con base en las actividades agrícolas de Santander, se observa que los sustratos a evaluar son de disponibilidad en el departamento, además que las condiciones son ideales para el cultivo de la seta *Pleuotus ostreatus*.

¹ Gobernación de Santander. 2008

1.2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.2.1 Generalidades. Con base en la problemática planteada, es claro que la no utilización de los residuos genera grandes consecuencias al medio ambiente; como ya se ha mencionado dentro de estas consecuencias encontramos las emisiones realizadas a la atmósfera por la quema de residuos como el bagazo de caña y otro tipo de residuos; el compromiso a nivel mundial con la minimización de las cargas emitidas al ambiente es claro, quedando esto demostrado en el Tratado de Kioto; otra de las consecuencias se encuentra en las vertientes de lixiviados en donde el destino final será en muchas ocasiones las aguas subterránea y los ríos; el aumento de la carga microbiana en los suelos donde se apilan los residuos genera grandes secuelas a corto mediano y largo plazo; pero, ¿qué tipo de emisiones pueden existir en la atmósfera y que composición tienen los residuos a los cuáles se les puede dar una alternativa de disposición que nos permitan evitar esta contaminación y optimizar el uso de los residuos en otros procesos?.

1.2.2 Emisiones a la atmósfera. Las emisiones a la atmósfera pueden ser de varios tipos: partículas, gases, ruido, olores o corrientes a alta temperatura. Las partículas se emiten fundamentalmente en los procesos de combustión y de transformación química como resultado de la trituración y molienda de materiales sólidos; y los gases se producen principalmente por combustión de materiales sólidos. Estos contaminantes pueden ser producidos por los residuos vegetales.

Las emisiones a la atmósfera pueden considerarse en dos niveles de importancia, según el efecto que generen sobre el medio ambiente: un nivel local o regional y otro global o mundial. En el local, están las sustancias que afectan la salud de las personas y animales como el monóxido de carbono y el material particulado, y a nivel mundial, las sustancias que producen alteraciones del ambiente global, tales como el CO₂, que incrementa el efecto invernadero y el calentamiento global, y los clorofluorocarbonos que coadyuvan el deterioro de la capa de ozono. En la

quema de sabanas y residuos de cosecha (tamo de arroz, pulpa de café, bagazo de caña de azúcar, entre otros) se generan los gases de efecto invernadero típicos de la combustión. La disposición de residuos doméstico o industrial contribuye a la emisión de metano, CO₂ y compuestos orgánicos volátiles, como resultado de la degradación de la materia orgánica².

Además de las emisiones, otra de las consecuencias en los tratamientos que se le hace a los residuos agrícolas y agroindustriales son los lixiviados. Los lixiviados son todos aquellos líquidos que han entrado en contacto con los desechos de rellenos sanitarios, y se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos en contacto con el agua, o por la propia dinámica de descomposición de los residuos. La carga orgánica de los lixiviados, cuantificada por el parámetro DBO (demanda bioquímica de oxígeno), suele ser 100 veces superior al DBO que presentan los residuos de origen cloacal. En el caso de los lixiviados: su carga orgánica desarrolla un sistema biológico tan sediento de oxígeno que sus bacterias terminan tomándose todo el aire presente en el agua; esto es porque tiene tendencia a consumir oxígeno con mayor rapidez a la que permite su capacidad de autodepuración; es decir, en casos extremos pueden convertir el sistema aeróbico del cauce en otro anaeróbico, sin oxígeno³. Lo anterior deja claro que la disposición de los residuos agrícolas y agroindustriales en los rellenos no es la mejor opción.

1.2.3 Lignocelulosa. Los residuos y subproductos agropecuarios como las pajas de cereales, el bagazo de la caña de azúcar, el tamo de arroz, la pulpa de café etc. son materiales fibrosos y inevitablemente producidos por diversos cultivos. La

² CHAPARRO, L. et al. Emisiones al ambiente en Colombia. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente. IDEAM, 2002. 532-543 p.

³ CONTRERAS A. y SUÁREZ J. Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario el guayabal de la ciudad San José de Cúcuta. Ingeniería y desarrollo Número 20. Julio – diciembre 2006. [en línea]. Disponible en internet:URL<http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/20/tratamiento_biologia.pdf>

composición química de estos materiales, así como el valor nutritivo, depende de varios factores como por ejemplo, el grado de maduración de la planta, cuando la mayoría de los nutrientes se traslada hacia las semillas y frutos y otros factores que pueden afectar la composición química de los residuos, como la fertilización de las tierras y las condiciones del tiempo, etc. Estos materiales están formados por tres grupos de compuestos orgánicos principales, todos ellos polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina.

1.2.4 Celulosa. Es la sustancia que más abunda de los carbohidratos, ya que le corresponde más del 50% del total de átomos de carbono de las plantas. Las células vegetales tienen paredes celulares de sostén resistentes, constituidas en su mayor parte de celulosa, que es un polímero formado por unidades de D-glucosa unidas por enlaces β 1-4; formando cadenas lineales de hasta 3000 unidades que están dispuestas al azar en la pared celular de la planta conformando la celulosa amorfa o bien, agrupadas en microfibrillas, unidas por puentes de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals constituyendo la celulosa cristalina. Este polímero es sintetizado por las células en crecimiento y su función es la de conferirle rigidez y contribuir al soporte de las células.

1.2.5 Hemicelulosa. Es muy importante porque le confiere plasticidad y flexibilidad a la pared celular; su contenido en la planta varía ya que decrece de la pared primaria a la secundaria, tiene la propiedad de unir las fibrillas de celulosa para formar microfibrillas, las cuales mejoran la estabilidad de la pared celular. También hace un entrecruce con la lignina creando una red compleja de uniones que proveen fuerza estructural y desafían la degradación microbiana.

1.2.6 Lignina. Es el segundo polímero más abundante en la naturaleza, después de la celulosa; constituye el 5-30% del peso seco de los tejidos vegetales. Su molécula es un complejo polímero de unidades de fenilpropano (C6-C3). Las unidades de fenilpropano están entrelazadas una a otra con diferentes enlaces

químicos entre unidades aromáticas, esta complejidad las hace resistentes a la degradación microbiana. Sin embargo, algunos organismos, particularmente hongos (p.e. *Pleurotus ostreatus*) han desarrollado las enzimas necesarias para hidrolizar la lignina. La estructura de la lignina, su composición y contenido varían según el tejido, órgano, origen, edad de la planta y factores medioambientales. Se sintetiza al final de las células en crecimiento, su contenido es alto en la lámina media y decrece en la pared secundaria⁴.

Es claro que la lignina, celulosa y hemicelulosa hacen parte de las tres composiciones orgánicas principales de los residuos agrícolas y agroindustriales, entre los que se encuentran la pulpa de café, el bagazo de caña y el tamo o cascarilla de arroz.

1.2.7 Métodos de Tratamiento de los Residuos Lignocelulósicos. A pesar de que la lignina es uno de los polímeros naturales más abundantes de la naturaleza y una fuente renovable de carbono aromático, es a su vez el polímero de los residuos agrícolas que presenta mayor dificultad para su degradación; su descomposición es de gran importancia ambiental y comercial debido a que podría ser usado como sustrato para alimento de animales, abono, y producción de biogás. La mayoría de estos materiales carbohidratados ricos en lignocelulosa son poco digeribles, pobres en nitrógeno y de bajo potencial. Debido a esto se ha obligado a desarrollar técnicas que mejoren el balance nutricional y la biodigestibilidad de este tipo de materiales, algunos de los cuales incluyen tratamientos físicos, químicos y biológicos.

Tratamientos Físicos. Se utilizan diferentes tratamientos como son: picado, molido y empleo de vapor a presión, ya que estos procesos reducen el tamaño de las partículas, aumentado la superficie de contacto e incrementado la densidad.

⁴ CADENA, A. Propuesta para la transformación de residuos sólidos orgánicos en abono utilizando microorganismos autóctonos. Bucaramanga, 2001. Tesis de grado (Especialista en Microbiología Ambiental). Universidad Industrial de Santander.

Tratamientos químicos. Se han usado pretratamientos químicos del sustrato con álcalis y ácidos para favorecer la difusión y aumentar la accesibilidad de las enzimas por parte de los microorganismos, permitiendo el ataque de la celulosa y hemicelulosa. El estudio más conveniente es un pretratamiento alcalino con NaOH al 1%. En general estos tratamientos son costosos y perjudiciales porque producen contaminación del medio ambiente.

Tratamientos biológicos. Permiten el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos ofreciendo una doble ventaja aumentando la cantidad de nutrientes, y su digestibilidad sin contaminar el medio ambiente. Se han realizado varios estudios con bacterias, como: Cellulomonas, Actinomycetes y Basidiomycetes; Streptomyces y hongos Celulolíficos como: Trícoderma, Chaetomium, Ceratocytis, Phialophora y otros. Los tratamientos microbiológicos tienen grandes ventajas con respecto a los químicos y físicos, alta especificidad en la degradación de la lignina, generación mínima de desperdicios y subproductos, bajos requerimientos de energía y además no requiere de eliminación y recuperación de reactivos⁵.

Es claro que el tratamiento para el proyecto será biológico por el uso de un organismo biológico para la degradación del sustrato, los cuales cuentan con una composición del sustrato de lignina y celulosa que se presenta en la Tabla 1.

1.2.8 Caña de azúcar para panelera (*Saccharum officinarum* L.). La caña de azúcar es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las gramíneas. Las partes básicas de la estructura de una planta, que determinan su forma, son: la raíz, el tallo, las hojas y la flor.

⁵ Ibíd.

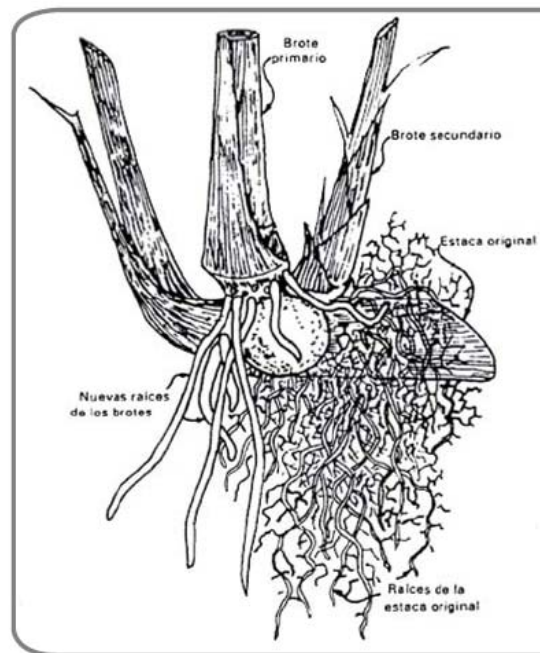
Tabla 1. Contenido de lignina y celulosa en los sustratos sólidos empleados.

Sustrato	Contenido de lignina (%)	Contenido de celulosa (%)
Tamo de arroz	35.00	32.03
Cacota de cacao	34.95	37.55
Cereza de café	32.10	30.00
Bagazo de caña	21.35	51.73
Hoja de piña	12.32	48.79
Tuza de mazorca	10.55	28.34
Paja de trigo	17.62	48.07
Salvado de trigo	6.80	17.93

Fuente. GARCIA, A. y TORRES R., 2003

Sistema Radical. Constituye la parte subterránea del eje de la planta, es el órgano sostén y el medio para la absorción de nutrientes y agua del suelo. En la planta de caña se distinguen dos tipos de raíces, como se muestra en la figura 1.

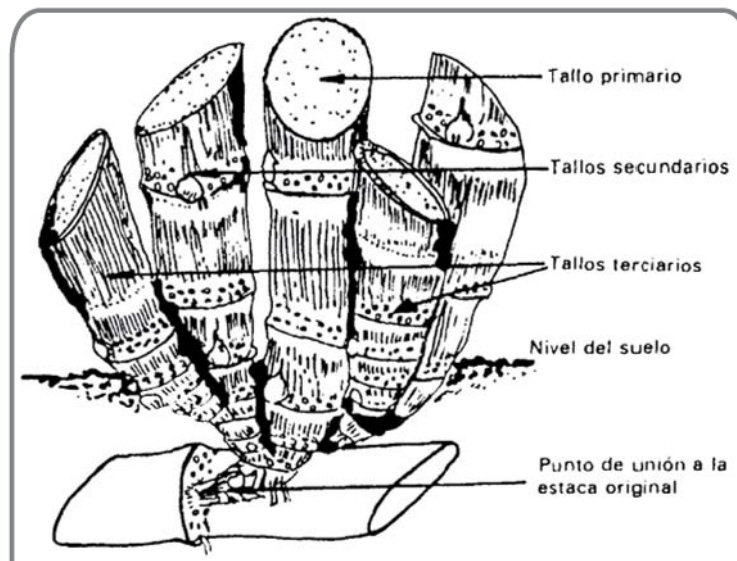
Figura 1. Sistema Radicular caña panelera.



Fuente. OSORIO G. Manual técnico buenas prácticas agrícolas- BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura- BPM- En la Producción de Caña y Panela. Corpoica, CTP Print Ltda. Medellín – Colombia 2007. pág. 53-60
 web: <http://www.fao.org.co/manualpanela.pdf>

El tallo. Es el órgano más importante de la planta de la caña, puesto que allí se almacenan los azúcares; el número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento dependen de la variedad. La longitud de los tallos, en gran parte depende de las condiciones ambientales de la zona y del manejo que se le dé a la variedad. Los tallos pueden ser primarios, secundarios o terciarios. Las partes constitutivas del tallo se presentan en la Figura 2.

Figura 2. Tallos de caña y su diferenciación.



Fuente. OSORIO G. Manual técnico buenas prácticas agrícolas- BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura- BPM- En la Producción de Caña y Panela. Corpoica, CTP Print Ltda. Medellín – Colombia 2007. pág. 53-60 web: <http://www.fao.org.co/manualpanela.pdf>

La caña de azúcar presenta un alto contenido de azúcares solubles, específicamente sacarosa, y azúcares insolubles de origen estructural, especialmente celulosa, hemicelulosa y lignina (Tabla 2) de acuerdo con los datos de González 2004.

Tabla 2. Composición química de la caña de azúcar entera.

FRACCIONES	% MS
Materia seca	29
Cenizas	5
Lignina	7
Celulosa	27
Hemicelulosa	20
Azúcares solubles	40
Proteína bruta, Nx6.25	2

Fuente. GONZALEZ, D. et al. Jugo de caña y follajes arbóreos en la alimentación no convencional del cerdo. Universidad Central de Venezuela. Revista computadorizada de producción porcina Vol. 11 (N°3), 2004.

Bagazo de caña. En el proceso de molienda, además del jugo, también se obtiene un residuo sólido llamado “bagazo verde” cuya humedad depende del grado de extracción del jugo, que fluctúa entre 50% y 60%. Este bagazo es llevado y almacenado en cobertizos llamados bagaceras hasta que alcance una humedad inferior al 30%, para ser utilizado en las hornillas como combustible. Para alcanzar este porcentaje de humedad, se debe almacenar en pilas altas dejando un espacio entre montón y montón para que circule el aire y seque el bagazo. Además, se recomienda poner un tubo de PVC o una caneca en el centro de la pila o montón, para que se facilite el secado. Otros componentes son la fibra, que está constituida principalmente por celulosa, pentosanas, lignina y cenizas⁶.

1.2.9 El café (Coffea). Científicamente denominado *Coffea*, se le conoce como cafeto o planta productora de café a un arbusto que se da en la región tropical de la tierra perteneciente a la familia de las rubiáceas, considerada como numerosa ya que abarca 500 géneros y 8.000 especies. Uno de esos géneros es el *Coffea*, que lo constituyen árboles, arbustos, y bejucos, y comprende unas 10 especies civilizadas, es decir, cultivadas por el hombre y 50 especies silvestres.

⁶ GONZALEZ, D. et al. Jugo de caña y follajes arbóreos en la alimentación no convencional del cerdo. Universidad Central de Venezuela. Revista computadorizada de producción porcina Vol. 11 (N°3), 2004.

Los granos de café o semillas están contenidos en el fruto del arbusto, los cuales en estado de madurez toman un color rojizo y se les denomina “cereza”, cada una de ellas consiste en una piel exterior que envuelve una pulpa dulce, debajo están los granos recubiertos por una fina membrana dorada que envuelve las dos semillas de café.

El fruto del cafeto cuyas semillas tostadas y molidas se utilizan para el consumo humano está compuesto por:

- Una cubierta exterior llamada pulpa
- Una sustancia gelatinosa azucarada que recibe el nombre de mucílago
- Una cubierta dura que se denomina pergamino o cascara
- Una cubierta más delgada y fina llamada película
- Y finalmente el grano o almendra que es la parte del fruto que una vez tostada y molida se utiliza para la producción del café bebida.

Los cafetos son árboles o arbustos reconocibles por sus hojas simples, opuestas y con estípulas frecuentemente bien desarrolladas. Sus flores son pequeñas, tubulosas y blancas. El fruto es una drupa con dos nueces y con pulpa azucarada.

Especies de coffea. Existen numerosas especies de cafeto y diferentes variedades de cada especie. Las especies más importantes comercialmente son conocidas como *Coffea arábica*, y *Coffea canephora*. Ambas especies se encuentran en forma silvestre en varias regiones africanas.

El cafeto necesita condiciones especiales de suelo y clima (temperatura, precipitación, altitud y humedad ambiental) para su cultivo. Por tal razón aunque su origen es tropical no todas las regiones del trópico son aptas para su cultivo⁷.

La pulpa de café deshidratada contiene cantidades de proteína comparables a las de los cereales, aun cuando su contenido de fibra cruda es mayor y el de extracto

⁷ FEDECAFÉ, 2008

libre de nitrógeno es menor. Es posible que estos dos últimos compuestos sean factores limitantes en la utilización de la pulpa de café, al igual que su contenido de cafeína y de polifenoles. La composición química proximal de la pulpa ensilada no difiere de la de la pulpa sin ensilar, ambas deshidratadas. Entre los minerales, el potasio se encuentra en alta concentración, y los niveles de calcio y fósforo están en proporción adecuada. El patrón de aminoácidos esenciales de la proteína de la pulpa de café es parecido o superior al de algunos concentrados proteínicos, por ejemplo, las harinas de soya, de algodón y de pescado. En lo referente a lisina, es superior al patrón de la proteína del maíz, y también lo es en pergamino o cascabillo de café es alto en fibra cruda, fracción orgánica que posiblemente limita su uso, pero en general dicho subproducto es comparable al olote de maíz o a la cascarilla de algodón en lo que respecta a otros componentes orgánicos⁸.

1.2.10 La planta de arroz (*Oryza sativa*). Son cerca de 28.000 productores que se pueden asemejar como cabezas de hogar y por eso serían igual número de familias. Sin embargo en forma directa e indirecta aproximadamente 2 millones de personas en todo el país generan su ingreso por el cultivo y procesamiento industrial del arroz.

Se cultivan cerca de 400.000 hectáreas de arroz, que producen cerca de 2.100.000 toneladas de paddy seco al año. El consumo es de 40 kilos de arroz blanco por persona al año.

La región que más consume arroz es la Costa Atlántica (54 Kg.) y la que menos la región Oriental (30 Kilos). En Bogotá se distribuyen más de 245.000 toneladas de arroz blanco al año, son 7 millones de personas que consumen 35 kilos cada una al año. Se podría decir que se consumen usualmente 21.000 toneladas de arroz

⁸ BRESSANI, R. Et al. Pulpa y pergamino de café: I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Coffee pulp and coffee hulls: I. Chemical composition and amino acids contents of the pulp protein. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, 3. Bogotá. COLOMBIA. Turrialba. 22.3. jul.-sept. 1972. 26-30 abr. 1971. 299-304. Web. <http://www.metabase.net/docs/incap/08979.html>

blanco, volumen que corresponde a 600 tractomula de 35 toneladas cada una. Los departamentos productores de arroz más importantes son Tolima, Meta, Casanare y Hila. El arroz se siembra en 20 departamentos del país y en 211 municipios. El arroz es uno de los principales productos de la canasta familiar y es un importante generador de empleos directos e indirectos, no sólo para los productores sino para los comercializadores. Durante miles de años ha sido el sustento principal para los hogares del mundo. Hoy por hoy se considera que es el grano más importante dentro de la alimentación del 70% de la población global. El arroz contiene vitaminas, hierro, tiamina, riboflavina, calcio y ácido nicotínico. Provee el 14% de la dieta energética y el 12% de la dieta proteínica de la población. Según los últimos estudios del DANE y Fedearroz cada Colombiano consume, en promedio al año 40 Kilos de arroz blanco, es decir que Colombia consume cerca de 120 mil toneladas de arroz mensuales⁹.

Tabla 3. Valor nutricional del arroz

	Blanco	Integral
CALORIAS	359	341
HUMEDAD	12.2%	11.5%
PROTEINAS	7.8%	8.6%
GRASA	0.4%	1%
CARBOHIDRATOS	78.8%	77%
FIBRA	0.3%	0.8%
CENIZAS	0.5%	1.1%
MINERALES		
CALCIO	9 mg	10 mg
FOSFORO	140 mg	380 mg
HIERRO	0.8%	2.0%
VITAMINAS		
TIAMINA	0.07%	0.25%
RIBOFLAVINA	0.03%	0.06%
NIACINA	1.3%	5.3%

Fuente. FEDEARROZ, 2010.

El arroz científicamente denominado *Oryza sativa* y perteneciente a la familia de las gramíneas, está constituida por cuatro componentes principales: a) el germen,

⁹ FEDEARROZ. 2010.

la parte más rica en nutrientes, ácidos grasos, aminoácidos y enzimas, y que se constituye en la parte germinal que da lugar al crecimiento del grano; b) el endospermo, que representa alrededor del 70% del volumen del grano y constituye al final del proceso el producto denominado arroz blanco; c) la cutícula o polvillo, el cual alcanza un 6.8% en volumen en el grano de arroz, utilizado como alimento para animales por su alto contenido de grasas y d) la cáscara o pajilla, que constituye aproximadamente 20% en peso del grano y que es separado en el proceso de pilado formándose verdaderas montañas de cascarilla al costado de los molinos, lo que ocasiona problemas de espacio por la acumulación de este desecho.

Normalmente, la cascarilla se incinera para reducir su volumen generando humos contaminantes. Como combustible genera calor, debido a su valor calorífico (aproximadamente 16720 kJ/kg), y la ceniza resultante contiene un porcentaje en sílice superior al 90%, lo cual la hace una potencial fuente de sílice. Las principales impurezas que contiene esta sílice son: calcio, potasio, magnesio y manganeso y como secundarias aluminio, hierro (10-20ppm), boro y fósforo. (1-40 ppm). (Ahumada L. 2006). Con Base en un estudio donde se demuestra que las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz en el Departamento del Tolima está entre los rangos que se manejan a nivel mundial. La composición elemental de una sustancia combustible es su contenido (porcentaje en masa) de carbono (C), hidrógeno (H), azufre(S), oxígeno(O), nitrógeno(N), humedad (W) y cenizas o material residual (A).

El contenido de humedad de la cascarilla de arroz cuando sale del desecador varía entre 5 y 40%, luego de estar expuesta a la intemperie, en época no lluviosa, la humedad promedio de la cascarilla esta aproximadamente entre el 8 y 15%. El

contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca¹⁰.

En Cenifafé se evaluó la producción del hongo *Pleurotus* spp diversa formulaciones de sustratos, realizando métodos para la valoración de cada nutrimento en residuos como pulpa de café, bagazo de caña y tamo de arroz, datos consignados en la siguiente tabla¹¹.

Tabla 4. Caracterización de los subproductos para el cultivo de *Pleurotus* spp.

Análisis (en peso seco)	Tipo de subproducto		
	Pulpa de Café	Bagazo de Caña	Tamo de Arroz
humedad (%)	78,56	8,85	10,11
Nitrógeno (%)	1,65	0,29	0,37
Proteína (%)	10,31	1,81	2,31
Cenizas (%)	7,61	12,65	19,75
Fibra (%)	13,15	3,71	52,18
Grasa (%)	2,17	0,64	0,31
ELN (%)	66,76	81,19	25,45
P (%)	0,12	0,04	0,06
K (%)	2,71	0,08	0,1
Ca (%)	0,37	0,1	0,05
Mg (%)	0,1	0,09	0,05
Fe (ppm)	306	500	123
Mn (ppm)	36	123	100
Zn (ppm)	18	80	13
Cu (ppm)	12	26	7
B (ppm)	23	32	6
pH	4,01	4,95	6,62

¹⁰ VALVERDE, A. Et al. Análisis comparativo de las características físicoquímicas de la cascarilla de arroz. Scientia et Technica Año XIII, No 37, Diciembre de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. Disponible en Internet: URL: <<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/102114255-260.pdf>>

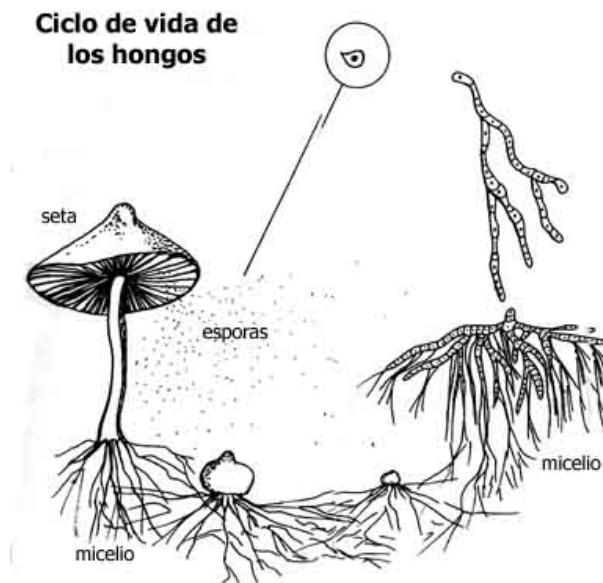
¹¹ CENIFACE. 2005

1.2.11 Setas. Algunos organismos, particularmente hongos son degradadores de lignocelulosa. Los hongos son un grupo diverso de organismos unicelulares o pluricelulares que se alimentan mediante la absorción directa de nutrientes. Los alimentos se disuelven mediante enzimas que secretan los hongos; después se absorben a través de la fina pared de la célula y se distribuyen por difusión simple en el protoplasma. Junto con las bacterias, los hongos son los causantes de la putrefacción y descomposición de toda la materia orgánica. Hay hongos en cualquier parte en que existan otras formas de vida¹², no presentan cloroplastos como las plantas (por lo tanto carecen de clorofila), son heterótrofos, es decir, obtienen su alimento por absorción de materia orgánica preformada. Su pared celular está compuesta principalmente de quitina. Se reproducen por medio de esporas que se forman como producto final de la reproducción sexual o asexual de los mismos.

Para su crecimiento los hongos absorben del medio en donde viven las sustancias necesarias para su desarrollo. Con esta función fisiológica, destruyen o transforman químicamente dicho medio al degradar combinadamente con las bacterias, la materia orgánica para que ésta se incorpore al suelo o se difunda en el medio y sea aprovechada por los vegetales u otros seres vivos. El cuerpo fructífero de un hongo es sésil, no presenta hojas, tallo ni raíces, y no desarrolla un sistema vascular como las plantas.

¹² GONZALEZ, H. Biología de los hongos. Bogotá: Gimnasio Moderno Robinsón Crusoe, 2003

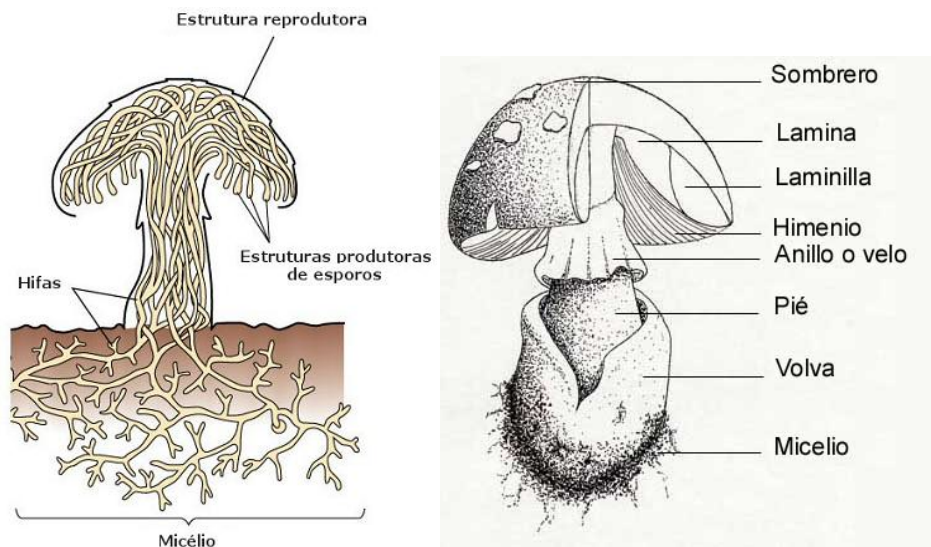
Figura 3. Ciclo de desarrollo de una seta.



Fuente. Agrizak C.A.

Los componentes principales del hongo son: Hifas, píleo, himenio, volva, anillo y estípite.

Figura 4. Estructura de una seta.



Fuente. Infojardín, 2007

Hifas. En cada hifa hay uno o dos núcleos y el protoplasma se mueve a través de un diminuto poro que ostenta el centro de cada septo. No obstante, hay un filo de hongos, que se asemejan a algas, cuyas hifas generalmente no tienen septos y los numerosos núcleos están esparcidos por todo el protoplasma¹³ presentan un crecimiento apical y en su conjunto forma una gran masa filamentosa de apariencia algodonosa de diferentes colores que regularmente se encuentra por debajo del mantillo en los bosques. Ese conjunto de hifas se llama *micelio*, y ese es el Hongo Verdadero¹⁴, Cuando el micelio se desarrolla puede llegar a formar grandes cuerpos fructíferos, tales como las setas

Píleo. También denominado sombrero. Es la parte carnosa de la seta. En general en los basidiomicetos va cubierta de una piel fina llamada cutícula que puede adoptar gran variedad de colores.

Himenio. Es la parte en donde se ubican las esporas para su reproducción; el aspecto característico es de láminas aunque también se presenta en forma de poros y agujeros.

Anillo. Son las membranas adheridas al pie cuyo origen es la apertura o desarrollo del píleo.

Volva. Resto de membranas adheridas al pie en el desarrollo del hongo, es característico de setas que nacen en forma de huevo como las amanitas o volvarias y son alucinógenas o venenosas.

Estípite. Es la parte de la seta que está en contacto con el micelio. Une el sombrero con el suelo.

¹³ GONZALEZ, H. Biología de los hongos. Bogotá: Gimnasio Moderno Robinsón Crusoe, 2003

¹⁴ OCHOA et al. 2004

Inicialmente, los hongos fueron clasificados dentro del Reino *Plantae* ya que fueron considerados organismos inmóviles presentando estructuras que se asientan firmemente en el sustrato sobre el que crecían. Sin embargo, cuando se ha aplicado la biología molecular en los estudios taxonómicos se ha observado que los hongos están más próximos al Reino *Animalia* que al *Plantae*. En el sistema de clasificación de los seres vivos en cinco reinos, los hongos se encuentran clasificados en el Reino *Fungi*, que se divide en cuatro *Phyla* denominados *Ascomycota* (el más extenso que comprende el 50% de los hongos conocidos y aproximadamente el 80% de los hongos patógenos, *Basidiomycota*, *Zygomycota* y *Chytridiomycota*, encontrándose en los tres primeros los hongos patógenos humanos. Los hongos en los que no se conoce su reproducción sexual, constituyen un grupo heterogéneo denominado Deuteromicetos, hongos imperfectos o mitospóricos, que representa el segundo grupo más numeroso y que también incluye patógenos humanos.

Las setas (*Pleurotus ostreatus*), *Volvariella volvacea*, y el hongo japonés Shiitake (*Lentinus edodes*), son hongos comestibles que poseen una excelente capacidad para degradar sustratos lignocelulósicos como son residuos agrícolas, industriales, maderables.

1.2.11.1 Pleurotus ostreatus. En los últimos años se ha considerado la producción de proteína por medios no convencionales, como una alternativa de gran potencial para ayudar a satisfacer la demanda creciente de alimentos. Entre las diferentes fuentes de proteína no convencional, el hongo *Pleurotus ostreatus* y la proteína unicelular tienen características que las hace particularmente atractivas por su alto contenido proteínico y la rapidez de duplicación de su masa. El término “Proteína fúngica” ha sido empleado para referirse a macro organismos tales como setas y hongos filamentosos, empleados con fines alimenticios. Para la producción de proteína es necesaria una fuente de carbono que, generalmente requiera alguna combinación de tratamiento físico ó químico de las materias

brutas para acertar un medio adecuado, propicio para el cultivo de macroorganismos (setas).

El enriquecimiento del medio, se debe realizar adecuándolo a las necesidades de las setas en cuanto a disponibilidad de carbono y fuentes de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes esenciales. Las condiciones adecuadas para el cultivo deben oscilar entre los siguientes intervalos: 26°C a 30°C con 75% a 95% de humedad relativa. El pH se debe mantener entre 4.5 y 6.5. Con el medio en condiciones adecuadas se inocula el cultivo ó cepas de las setas deseadas, luego se realiza la separación de la biomasa microbiana del medio agotado, mediante corte directo. El hongo *Pleurotus ostreatus* en su amplia gama de usos, es empleado para humanos en alimentos fortificantes¹⁵.

El *Pleurotus* es un hongo del grupo de los basidiomicetes y uno de los más importantes comercialmente. Su utilidad está básicamente enfocada al consumo humano y a la industria de carácter enzimático. El *Pleurotus ostreatus* es un basidiomiceto que produce cuerpos fructíferos con forma de concha. Se cultiva a nivel industrial para emplearlo como consumo humano, ya que es un hongo comestible de excelente sabor rico en proteínas y vitaminas.

Para el cultivo industrial de *Pleurotus ostreatus*, se utilizan substratos lignocelulósicos o paja de cereales. El hongo *P. ostreatus* posee una maquinaria enzimática muy compleja que le permite degradar los grandes polímeros (lignina y celulosa) que componen el substrato. Sin embargo, la forma de nutrición de los hongos implica que la capacidad del hongo para producir enzimas hidrolíticas específicas debido a la presencia de genes específicos, no es suficiente para la eficiente degradación del substrato. Dado que los hongos filamentosos presentan una pared celular rígida exterior a la membrana plasmática, las enzimas hidrolíticas además deben ser secretadas al exterior de la célula, donde degradan

¹⁵ ARÍSTEGUI, B. El reino de los hongos. Rev Iberoam Micol, 2002.

los polímeros (lignina y celulosa) para dar lugar a compuestos de bajo peso molecular que puedan ser absorbidos.

La secreción de enzimas por hongos filamentosos es un proceso muy relacionado con el crecimiento. Y al igual que éste, la secreción está localizada exclusivamente en los ápices de las hifas. Las hidrofobinas son unas proteínas esenciales en los hongos superiores ya que son necesarias para la formación de estructuras aéreas. Particularmente, para el género *Pleurotus* el conocimiento de estas hidrofobinas tiene un gran interés, ya que en éste se engloban diversas especies y variedades de hongos que se cultivan a escala industrial para consumo humano y que también tienen otras aplicaciones en el campo biotecnológico, químico y farmacéutico. Es rico en proteínas conteniendo los siguientes aminoácidos esenciales: triptofano, treonina, lisina, y metionina, además proporciona vitaminas del complejo B, y minerales Ca, K, P. La ingestión periódica reduce el nivel de colesterol en la sangre y consecuentemente la hipertensión arterial. Los sustratos empleados para la producción de *Pleurotus ostreatus* son básicamente compuestos lignocelulósicos, entre los cuales se tiene el bagazo de caña de azúcar, la paja de cebada, el papel reciclado, el rastrojo de amaranto, el olote de maíz y el aserrín¹⁶.

El *Pleurotus ostreatus* es un hongo basidiomiceto comestible saprofito o parásito débil, descomponedor de madera. La palabra *Pleurotus* viene del griego “pleuro”, que significa formado lateralmente o en posición lateral, refiriéndose a la posición del estípite respecto al píleo; *ostreatus* en latín quiere decir en forma de ostra y en este caso se refiere a la apariencia y al color del cuerpo fructífero¹⁷.

¹⁶ CAMACHO S., María. et. all. Selección de sustratos para producir hongos setas (*Pleurotus ostreatus*). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería (Ingeniería en sistemas). Junio 2003

¹⁷ CARDONA L, Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Crónica forestal y del medio ambiente No. 16, Medellín, 2001.

Denominaciones vulgares. Seta de ostra, *Agerita*, Pleurota en forma de ostra
Catalán: *Alzinoia*, *Orellana*, *Orella de gato*, *Girgola de Pollancre*.

Clasificación taxonómica del *Pleurotus ostreatus*:

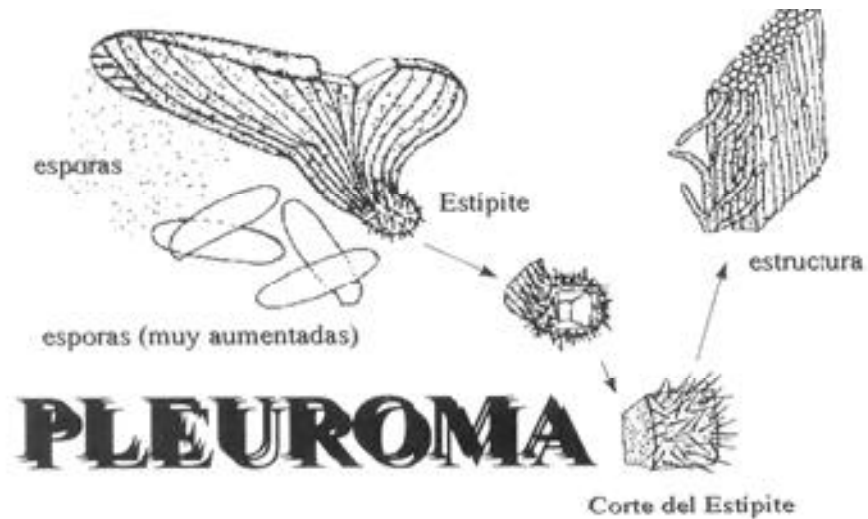
Reino : *Fungi*.
Subreino : *Fungi superior*.
División : *Basidiomycota*.
Subdivisión : *Basidiomycotina*.
Clase : *Himenomycetes*.
Orden : *Agaricales*.
Familia : *Tricholomataceae*.
Género : *Pleurotus*.
Especie : *Ostreatus*

Características. Sombrero carnoso, en forma de concha o de abanico, color blanco leonado, ligeramente coriáceo, de matiz castaño oscuro. Normalmente se forman varios sombreros superpuestos. De laminillas decurrentes, gruesas, carnosas, reunidas en la base y de un blanco ceniciento. Alcanzan diámetros de 8-15 cm. Pedicelo lateral muy corto, grueso, carnoso, macizo en su cima, angostado, en la base y de matiz blanco ceniciento. Carne blanca, consistente, ligeramente coriácea, de sabor y olor agradable. Los ejemplares más jóvenes son buenos comestibles¹⁸.

Su órgano reproductor llamado pleuroma, forma cuerpos fructíferos o carpóforos. Pleuroma es el nombre que se aplica al basidioma del hongo *Pleurotus*, es un órgano reproductor y productor de estructuras generadoras de esporas, es decir, basidios y basidiosporas

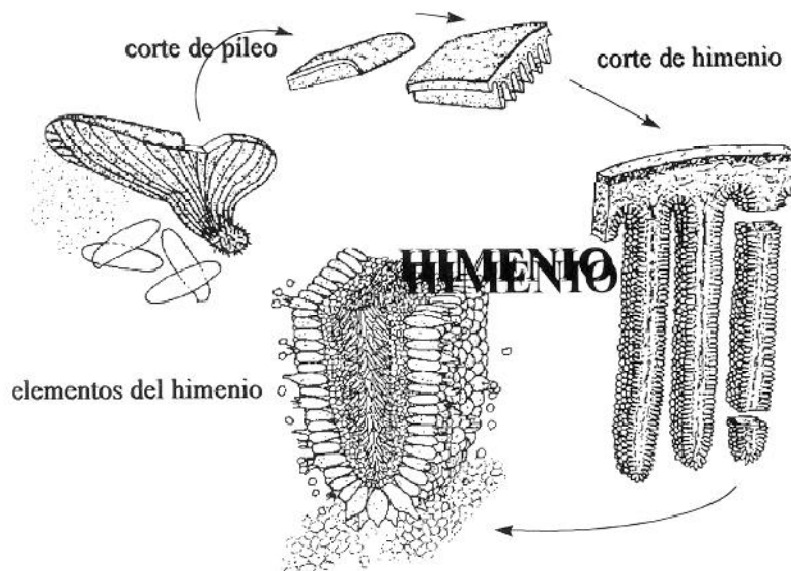
¹⁸ CALVETE G. et al. Biofiltro Para el Control de Olores Emitidos por la Empresa Café Diamante S.A. Bucaramanga, 2003. Tesis de grado. Fundación Universitaria Manuela Beltrán. Programa de Ingeniería de Biorecursos.

Figura 5. Estructura Pleuroma Pleurotus ostreatus



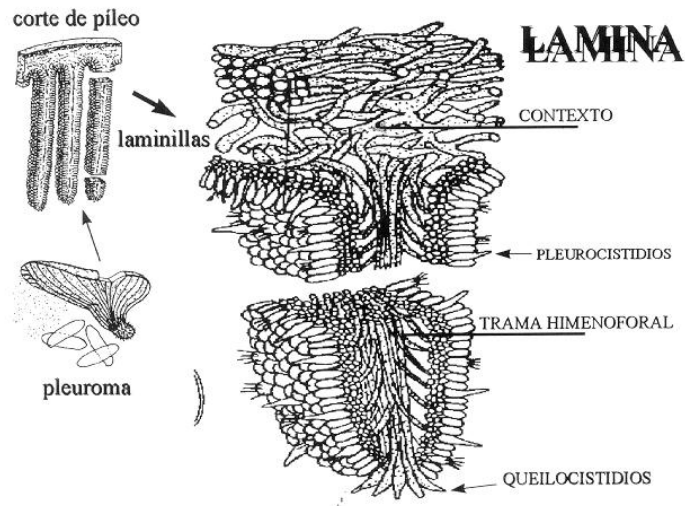
Fuente. RODRIGUEZ, K. Eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* como biorremediador de suelos contaminados con metales pesados. Puerto Rico, 2005. Tesis de grado (Maestro en Ciencias en Biología) Universidad de Puerto Rico.

Figura 6. Estructura Himenio Pleurotus ostreatus



Fuente. RODRIGUEZ, K. Eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* como biorremediador de suelos contaminados con metales pesados. Puerto Rico, 2005. Tesis de grado (Maestro en Ciencias en Biología) Universidad de Puerto Rico.

Figura 7. Estructura lamina *Pleurotus ostreatus*



Fuente. RODRIGUEZ, K. Eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* como biorremediador de suelos contaminados con metales pesados. Puerto Rico, 2005. Tesis de grado (Maestro en Ciencias en Biología) Universidad de Puerto Rico.

Los hongos disuelven los alimentos mediante enzimas que secretan. Después los absorben a través de la fina pared de la célula y se distribuyen por difusión simple en el protoplasma.

Los hongos de pudrición blanca poseen un sistema enzimático extracelular de carácter no específico, capaz de romper una gran cantidad de enlaces diferentes y, por lo tanto, de degradar una gran variedad de compuestos orgánicos¹⁹.

Estudios realizados han demostrado que el *Pleurotus ostreatus* ataca la lignina luego de degradar la celulosa sustancialmente²⁰ debido a que posee una maquinaria enzimática muy compleja entre las que se encuentran enzimas como lignina peroxidasa (LiP), manganeso peroxidasa (MnP) y lacasa. Para catalizar

¹⁹ RODRIGUEZ, K. Eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* como biorremediador de suelos contaminados con metales pesados. Puerto Rico, 2005. Tesis de grado (Maestro en Ciencias en Biología) Universidad de Puerto Rico.

²⁰ *Ibid.*

grandes polímeros de lignina y celulosa que componen el sustrato se necesitan enzimas que contengan peróxido de hidrogeno las cuales el hongo las produce²¹.

Hoy en día, una gran variedad de desechos de lignocelulosa (paja de varios cereales, aserrín, desechos de algodón, desechos de caña de azúcar, etc.) están siendo utilizados como sustratos de base para su cultivo. La capacidad de este hongo de utilizar para su crecimiento desechos ha sido analizada por varios autores principalmente desde mediados de los años 1.980 y en algunos países, como por ejemplo en Colombia, hay granjas con producción activa hoy en día de *Pleurotus ostreatus*²².

Naturalmente, aunque existen variedad de residuos donde se pueda cultivar el *Pleurotus ostreatus*, no todos presentan el mismo rendimiento debido a los requerimientos nutricionales del hongo y que cada sustrato tiene una composición distinta, de allí recae la importancia de determinar el sustrato en donde se obtiene mayor rendimiento, con el fin de tener a futuro una producción con un buen rendimiento, proporcionando ventajas a nivel competitivo y económico.

Además a lo anterior, se debe tener en cuenta el tratamiento que se le dé al cultivo de donde se va a obtener el sustrato. En el caso de tratamientos con fungicidas, la cantidad que se utiliza es importante debido a que el *Pleurotus ostreatus* es un hongo y se puede inhibir el crecimiento y desarrollo de la seta; esto aumenta la importancia de realizar la investigación comparativa sobre el tipo de sustrato a utilizar, pues no a todos los cultivos se les aplican los mismos productos y con la misma intensidad. Por otro lado se debe agregar que si posteriormente se está pensando en comercializar la seta a nivel internacional, el consumo de productos orgánicos ha crecido día a día por lo que lo ideal es llegar

²¹ JOB, DANIEL. La utilización de la borra del café como sustrato de base para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. (Jacq.:Fr.) Kummer. En: Revista Iberoam Micol. Suiza. 2004. Vol. 21. p.195-197

²² Ibid..

en un futuro a ello con base en el tipo de producción de donde se obtiene el residuo.

El *Pleurotus ostreatus* es el tercer hongo cultivado más importante para propósitos alimentarios, contiene un alto valor nutricional, de 19 a 35% de proteínas aprovechables en peso seco, (en comparación con la mayoría de las frutas y hortalizas, que tienen entre el 7.3 al 13.2%), la mayoría de los aminoácidos esenciales y minerales, vitaminas como la tiamina (B1), riboflavina (B2), ácido ascórbico, ácido nicotínico y ácido pantoténico, ácido fólico, tocoferol, pirodoxina, cobalamina y provitaminas como la ergosterina y carotenos²³. El bajo contenido en carbohidratos hace de los hongos un alimento bajo en energía, se recomienda como dietético, además el contenido de ácidos grasos esenciales como oleico y linoléico se encuentran en cantidades apreciables lo cual los convierte en un complemento alimenticio²⁴. Esta se encuentra en la lista de 37 especies utilizadas en la medicina tradicional de Meso América y México. En el área de la medicina se ha encontrado que el género *Pleurotus* lleva a cabo actividades antibacteriales, antivirales, antitumorales, hematológicas y que ayuda en la reducción de los niveles de colesterol. Produce retardo en el crecimiento de tumores, posiblemente por la acción de un compuesto polisacárido que actúa como potenciador de la defensa del huésped; su ventaja sobre las sustancias que matan las células cancerosas radica en que no presenta efectos colaterales; los compuestos quimioterapéuticos usados contra el cáncer suprimen las defensas del huésped contra las células cancerosas y contra algunos agentes infecciosos.

- **Ingeniería del cultivo.** Los hongos no necesitan tierra para desarrollarse, requieren de espacios pequeños, bajo cubierta o en invernadero. Es importante

²³ CARDONA L., Op.cit.

²⁴ BONILLA. Producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. CORPOICA, CIMPA, Fondo Nacional de fomento Hortifrutícola, Asociación Hortifrutícola de Colombia. Publicación - Corpoica, cartilla ilustrada. Bucaramanga, 2003

que el sitio sea ventilado, seco y limpio. Se deben separar al menos cuatro áreas.

- *Área de Preparación.* Puede ser un área al aire libre, o cualquier área amplia que facilite la preparación del sustrato.
- *Esterilización del sustrato y Área de Inoculación.* Es el área donde se inoculará o sembrará la semilla del hongo en el sustrato estéril. Esta es el área que debe permanecer más aséptica en todo el proceso, debe tener bastante luz, para vigilar el proceso de siembra o inoculación.
- *Área de Incubación.* Es el área donde el hongo se incubará o crecerá alimentado del sustrato escogido, debe ser un área aséptica, completamente oscura, la temperatura debe permanecer a 25°C, aunque a menor temperatura también se desarrolla, pero se demoran más en crecer. La humedad ideal del sustrato debe ser del 75%
- *Área de fructificación.* Es el área que requiere de mayor espacio. Se debe permitir el ingreso de la luz hasta lograr un estado de semipenumbra. Tener en cuenta la ubicación de los estantes, tejas o lo que se vaya a utilizar para colocar los bloques y la separación entre ellos, para facilidad de las personas encargadas de la cosecha.

La temperatura máxima debe ser de 20 a 23°C. Lo que no significa que a temperaturas mayores no crezca pues hay evidencias que si lo hace, pero la ideal es la mencionada.

- **Características hídricas y fisicoquímicas del cultivo.** Las condiciones necesarias del ambiente y del sustrato en el momento de la siembra del hongo *Pleurotus ostreatus* son las siguientes: humedad relativa 82 a 86%,

concentración de CO₂ del sustrato 20000ppm; temperatura del sustrato 27.7 a 30°C; en estas condiciones, la incubación se lleva a cabo en 10 a 14 días; humedad del sustrato en el momento de la pasteurización 70-75%; pH 6.0 a 6.5 el cual es considerado como ideal; temperatura 28°C durante la etapa de incubación temperatura de fructificación 15°C, aunque las diferentes especies se comportan de manera distinta cuando son influenciadas por diferentes niveles de temperatura); concentraciones del CO₂ durante la fructificación de 0.08%; humedad relativa 90-95%; luz 8-12 horas diarias. El *Pleurotus ostreatus* utiliza 17 elementos, los cuales son: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre y Magnesio; y en proporciones menores Calcio, Hierro, Zinc, Cobre, Molibdeno, y Manganeseo.

- **Sistema de cultivo.** El cultivo se realiza artesanalmente de la siguiente manera: Se toman trozos del micelio y se pican, obteniendo con esto lo necesario para utilizar como “semilla”. Esta semilla se le añade al sustrato, y se procede a almacenarlo en bolsas plásticas que se almacenan generalmente en un cuarto oscuro.

Posteriormente se traslada a otro cuarto con un poco más de luz, se abren agujeros a las bolsas por donde brotarán los carpóforos y se hidratará con aspersión, de esta forma se puede obtener una producción de hongos que no sobrepasa el 40% de eficiencia biológica²⁵.

1.3 MARCO CONCEPTUAL

Aerobio. Organismo que crece en presencia de oxígeno.

Anaerobio. Organismo que crece en ausencia de oxígeno.

²⁵ GUARÍN J. y RAMÍREZ A. Estudio de factibilidad técnico financiero de un cultivo de hongo *Pleurotus ostreatus*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2004. 19-28p.

Biodegradabilidad. Propiedad que tienen algunos materiales complejos de ser degradados por microorganismos para formar productos finales sencillos.

Carpóforo. Cuerpo fructífero de un hongo macroscópico, formado por el órgano reproductor llamado pleurota.

Celulosa. Sustancia más abundante en los carbohidratos, le corresponde más del 50% del total de átomos de carbono de las plantas.

Digestión aerobia. Proceso de transformación de materia a subproductos orgánicos en presencia de oxígeno.

Digestión anaerobia. Proceso de transformación de materia a subproductos orgánicos en ausencia de oxígeno.

Espora. Célula reproductora asexual que forman numerosos hongos y plantas y algunos protozoos. Las esporas son resistentes al calor, desecamiento y otras condiciones adversas y se mantienen en estado de reposo hasta que encuentran un medio favorable al desarrollo o germinación

Fermentación. Conjunto de reacciones catabólicas, que producen atp en las cuales los compuestos orgánicos sirven tanto de donadores primarios de electrones como de aceptores finales de electrones.

Hemicelulosa. Polisacárido heterogéneo constituido por glucosa y cuatro polímeros solubles en alcali (xilano, galactano, mañano, arabinano).

Hidrólisis. Desdoblamiento de la molécula de ciertos compuestos orgánicos.

Inóculo. Material orgánico usado para iniciar un cultivo microbiano.

Incubación. Periodo de tiempo en el cual se conserva a determinada temperatura un microorganismos para su desarrollo.

Lignina. Complejo polímero amorfo de alto peso molecular que se encuentra unido a la celulosa y hemicelulosa en la madera y otros vegetales en una proporción del 25% al 30%.

Micelio. Conjunto de filamentos llamados hifas.

Orellana. Cuerpo fructífero de del *pleurotus ostreatus*.

Pleurotus ostreatus. Hongo basidiomiceto comestible saprofitico o parásito débil, descomponedor de lignocelulosa.

Proteína fúngica. Proteína obtenida por algunos hongos.

Repique. Traspaso de un microorganismo a un medio de cultivo.

Seta. Parte fructífera de cualquier especie de hongo.

Sustrato. Medio vegetal o artificial en el cual se siembran los microorganismos alimentándose del mismo.

Tratamiento biotecnológico. Tratamiento que se realiza al sustrato por medios biológicos

Con base en la problemática planteada, se observa que además de las consecuencias ambientales, se encuentra una oportunidad de aprovechamiento de los residuos agrícolas y agroindustriales, debido a la composición de los mismos.

La lignocelulosa, principal componente de los residuos agrícolas y agroindustriales, puede ser degradada por muchos microorganismos, para el caso se busca la degradación del material vegetal para que regrese al medio pudiéndose asimilar los nutrientes del mismo por el suelo como abono, o utilizarlo para alimentación caprina.

Los hongos comestibles colaboran al enriquecimiento de los substratos vegetales haciendo asequibles los hidratos de carbono, albúminas, fermentos, vitaminas y elementos minerales, ya que en el proceso de su crecimiento el hongo degrada la lignina y la celulosa. Otro de los rasgos importantes del cultivo de hongos comestibles, es la posibilidad de la posterior utilización del substrato como abono orgánico, debido a que el micelio es fuente de fitohormonas y otras sustancias biológicamente activas²⁶.

Además de lo anterior, El análisis bromatológico (alimenticio) de 10 hongos estudiados demostró que su contenido de nutrientes es similar a los encontrados en las hortalizas del grupo de las leguminosas. Conjuntamente se puede agregar que los hongos son pobres en grasas y colesterol y ricos en vitaminas B1, B2, D y otros compuestos del complejo B. Estudios recientes han comprobado que 200 gramos de hongos pueden reemplazar 100 gramos de carne.

Históricamente, el cultivo de hongos comestibles es una actividad que se desarrolla desde hace más de doscientos años en Europa con el cultivo del Champiñón (*Agaricus sp.*), y en Asia con el cultivo de Shiitake (*Lentinula sp.*) y oreja de negro (*Auricularia spp.*). Estos sistemas productivos eran considerados extensivos, dado que en el caso del Champiñón se recolectaba el estiércol de caballo (substrato natural de la especie) y se lo acondicionaba en graneros, dejando librado su ciclo productivo a las condiciones climáticas reinantes. En tanto, las orejas de negro eran recolectadas de troncos en los bosques.

²⁶ AVILÉS, M. Hongos Comestibles, un manjar para provecho comercial. Servicio de Información Agropecuaria y Ganadería del Ecuador. Proyecto SICA Banco Mundial. Disponible en Internet: URL:<Web: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/agricultura/hongos_comestibles.htm>

Con el correr del tiempo, la demanda provocó que se generaran sistemas productivos más eficientes y por ende rentables. Así, se fundaron centros de investigación de excelencia en el cultivo intensivo, entre los que se destacan el INRA (Francia) y el Centro de Investigación del Champiñón (Holanda).

Para comprender la evolución del cultivo, vale destacar que en los últimos cuarenta años la producción mundial de hongos comestibles se incrementó más de treinta y cinco veces: desde 24 mil toneladas en 1962 a 8.5 millones de toneladas en 2002, y ese crecimiento se registro más marcadamente en los últimos quince años, colocando en unos 23 mil millones de dólares. También se observó un cambio en las especies cultivadas, se relacionan en la tabla 5.

Tabla 5. Producción mundial de hongos comestibles cultivados de mayor producción en diferentes años.

Especie	1981		1990		1994		1997	
	En T	%	En T	%	En T	%	En T	%
Agaricus bisporus/bitorquis	900.000	71.6	1.424.000	37.8	1.846.000	37.6	1.955.000	31.8
Lentinula edodes	180.000	14.3	393.000	10.4	826.200	16.6	1.564.400	25.4
Pleurotus ostreatus	35.000	2.8	900.000	23.9	797.400	16.3	875.600	14.2
Auricularia spp.	10.000	0.8	400.000	10.6	420.100	8.5	485.300	7.9
Volvariella volvacea	54.000	4.3	207.000	5.5	298.800	6.1	180.800	3.0
Flamulina	60.000	4.8	143.000	3.8	229.800	4.7	284.700	4.6
Pholiota	17.000	1.3	22.000	0.6	27.000	0.6	55.500	0.9
Incremento %				72.5		30.5		24.4

Fuente. RODRÍGUEZ, G. Cultivo de hongos comestibles. Laboratorio de hongos comestibles y medicinales. Cátedra de horticultura. Fruticultura y diversificación. Comahue, 2007. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias.

Para concluir, podríamos decir que en la región se cuenta con infinidad de residuos agroindustriales, los cuales tienen la posibilidad de ser utilizados para la producción de hongos comestibles que tienen un mercado que día a día se ha encontrado en crecimiento, posteriormente se tiene el residuo acto con base en la literatura para utilizar como abono orgánico, se minimiza el impacto ambiental generado por los residuos vegetales y se obtienen beneficios ambientales,

sociales y económicos. Además se debe agregar que dadas las condiciones ambientales de la región se encuentran las condiciones especiales para producir la seta *Pleurotus ostreatus* la cual tiene alto contenido nutricional.

1.4 MARCO GEOGRÁFICO E HISTÓRICO

La relación de la producción de hongos comestibles de Colombia en comparación con países que son grandes productores es grande, pero debido a las características topográficas y geográficas del país este cuenta con todas las condiciones para ir aumentando esta productividad día a día, situación que está sucediendo, además que el consumo a nivel local de hongos comestibles ha ido creciendo día a día. Dentro de los departamentos de Colombia Santander tiene las condiciones ambientales especiales para incursionar en esta actividad, pues contamos con variedad de residuos de origen agrícola y agroindustrial, tiene el clima propicio para la producción de algunas especies de hongos comestibles entre los que se encuentran el *Pleurotus ostreatus*, además el consumo de hongos comestibles debido a los beneficios que contiene está creciendo considerablemente²⁷.

El Departamento de Santander está localizado en la parte septentrional de la cordillera Oriental, limitando con los Departamentos de Norte de Santander y Boyacá al Oriente, Boyacá al sur, Antioquia y Bolívar al Oeste y Cesar y Norte de Santander al Norte. La ciudad de Bucaramanga es su capital²⁸.

²⁷ RODRÍGUEZ, G. Cultivo de hongos comestibles. Laboratorio de hongos comestibles y medicinales. Cátedra de horticultura. Fruticultura y diversificación. Comahue, 2007. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias.

²⁸ Gobernación de Santander, 2008

Tabla 6. Producción estimada de *Pleurotus ostreatus* en algunos países de América

País	Toneladas	%
México	1.825	47.53
Estados Unidos	908	23.65
Canadá	568	17.79
Brasil	450	11.72
Guatemala	22	0.57
Venezuela	18	0.47
Cuba	12	0.31
Colombia	9	0.23
Otros	28	0.73
TOTAL	3.846	100

Fuente. RODRÍGUEZ, G. Cultivo de hongos comestibles. Laboratorio de hongos comestibles y medicinales. Cátedra de horticultura. Fruticultura y diversificación. Comahue, 2007. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias.

Analizando la actividad agropecuaria en Santander, se encuentra que este departamento es primer productor de varios alimentos entre los que se encuentra la panela, además en varios de sus municipios existe una alta producción de arroz y café, residuos que son motivo de estudio en este proyecto; entre ellos encontramos los municipios de Sabana de Torres y Piedecuesta. En Sabana de Torres, sus tierras son bañadas por el río Magdalena, el río Lebrija y otras corrientes menores.

Para los Sabaneros el soporte de la economía está reflejada en importantes yacimientos de petróleo, una óptima ganadería de engorde y levante y una agricultura que brinda a sus 20.839 habitantes, 11.104 pobladores en la parte urbana y 9.735 en la zona rural, grandes cultivos de arroz, sorgo, maíz y otros que la ubican en una descollante despensa agrícola, también se destacan el yacimiento de arena, silicio, únicas en la región nororiental de Colombia y los cultivos de Palma africana, que se convertirán en el principal desarrollo de la economía. Piedecuesta está localizado a 18 Km. De Bucaramanga, por una amplia autopista entre cañadulzales, Con un número de población aproximado de 100.687 habitantes, 81.930 en el área urbana y 18.757 en el sector rural, esta

región ha encontrado en los cultivos de caña de azúcar, tabaco, cacao y otros propios de su geografía, en ganadería excelentes ejemplares destacándose las razas de leche²⁹.

En lo que respecta al café el mismo necesita condiciones climáticas específicas para su producción, aunque es un producto propio de la zona tropical, su cultivo exige además, condiciones especiales de suelo, temperatura, precipitación atmosférica y altitud sobre el nivel del mar.

En la actualidad, el cultivo del café en Colombia está ubicado, en su gran mayoría, sobre el perfil de las laderas de sus tres cordilleras; y en menor escala en la Sierra Nevada de Santa Marta. Las zonas cafeteras colombianas están ubicadas en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Caquetá, Casanare, Cundinamarca, Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle.

Se cultivan únicamente los cafés arábigos, representados por las variedades Típica (también conocida como Arábigo, Pajarito o Nacional), Borbón, Caturra, Colombia y Tabi, las cuales producen una bebida suave, de acidez y aroma pronunciados y amargo moderado, de mayor precio y aceptación en el mercado mundial.

En Colombia se recoge café durante todo el año. Se dan dos cosechas, una grande que se llama cosecha principal y una pequeña denominada traviesa o mitaca, que produce aproximadamente una tercera parte de la principal. Estas características permiten ofrecer al mundo café fresco durante todo el año³⁰. En Santander, se encuentran cultivos de café ubicados en la vía que comunica con Pamplona encontrándose el Centro de Investigación de Café –CENICAFE en el kilómetro 16.

²⁹ Ibid.

³⁰ FEDECAFE. 2004

Con base a lo expuesto, es claro que las diferentes actividades panelera, arrocera y cafetera, generan la disponibilidad de residuos lignocelulolíticos en los que se cultiva la seta *Pleurotus ostreatus*, además que se cuenta con un mercado en el que día a día va creciendo el consumo de hongos comestibles.

1.5 MARCO LEGAL

La insuficiente atención y control de los problemas ambientales por la actividad productiva ha sido identificada como una de las carencias más importantes del quehacer ambiental nacional en los últimos años. Del total de fuentes puntuales de contaminación inventariadas en el país, más del 70% corresponden a instalaciones industriales y agropecuarias, destacando la industria azucarera y sus derivados, la actividad agropecuaria y las industrias básica y alimenticia como los sectores productivos de mayor incidencia en el deterioro del saneamiento y de las condiciones ambientales en los diferentes territorios. En respuesta a esta realidad, y bajo la normatividad establecida como Ley Marco Sanitaria o Ley 09 de 1979 (Código Sanitario Nacional) y sus Decretos Reglamentarios³¹.

El Ministerio del Medio Ambiente se ha trazado como objetivo estratégico dentro del Plan de Desarrollo 2000-2009³², la reducción gradual de las cargas contaminantes que se vierten en las cuencas hidrográficas, tomadas como unidades básicas para el trabajo de la gestión ambiental. Para la consecución de este objetivo resulta imprescindible perfeccionar las prácticas actuales de producción, de forma tal que se garantice un mejor uso de los recursos naturales, materias primas y productos, la minimización y tratamiento adecuado de los residuales o desechos que en ella se generan y el aprovechamiento económico de los mismos, en los casos en que sea factible. Aunque desde hace años, como casos aislados, se vienen desarrollando en el sector productivo Colombiano algunas prácticas dirigidas a mitigar los efectos negativos sobre el medio

³¹ Ministerio de Salud. 1982

³² Ministerio del Medio Ambiente. 1995

ambiente, principalmente en las industrias y actividades más contaminantes, su introducción ha sido limitada por factores de diversa índole. Entre ellos, el uso no adecuado de recursos materiales, las dificultades para acceder a tecnologías más limpias a través de financiación por parte de las Autoridades respectivas y, el énfasis de las normativas y sistemas regulatorios sobre las emisiones y sistemas de control de la contaminación a la salida del proceso, la presencia gubernamental en el acto de hacer cumplir las normas, ya bien concebidas, pero de acción insuficiente, la falta de conocimiento en algunos niveles de las organizaciones productivas sobre los beneficios económicos y ambientales de la introducción de prácticas de producción más limpia.

Conforme a lo anteriormente expuesto, resulta necesario diseñar un nuevo enfoque de trabajo en la gestión ambiental, que permita introducir y aplicar el concepto de producción más limpia de forma integral y sistémica dentro del sector productivo, haciendo énfasis en la prevención de la contaminación, la minimización y el aprovechamiento económico de los residuales, como principales opciones para reducir las cargas contaminantes dispuestas al medio ambiente en las condiciones de nuestro país³³. En la reunión de países pertenecientes al Convenio Andrés Bello (CAB), realizada en 1995 en Colombia, se trató la Aplicación de Tecnologías apropiadas para el Desarrollo Sostenible. El “Estado del Arte” expuesto a nivel nacional, dio aflujo en la persona de la Dra. Aixa Becerra Llanos, Directora de la Fundación CONTINUAR de La Universidad del Valle, quien enmarcó la necesidad del acopio por parte de la administración gubernamental, sus injerencias al entorno productivo industrial y no industrial de la nación con un objetivo esbozado en lineamientos de tipo ambiental a través de prácticas de producción más limpia.

En Colombia el Marco Legislativo y las instituciones creadas por la Ley 12 de 1986

³³ QUINTERO, R. Análisis de alternativas para la producción industrial de proteína a partir de celulosa. En Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. México: AGT editor, 1990 177-189 p.

sobre Descentralización Administrativa, la nueva Constitución Política y la Ley 142 de Servicios Públicos promueven la veeduría y la participación comunitaria en la prestación de servicios públicos domiciliarios, favorecen el desarrollo de Tecnologías Apropriadas como alternativas de solución a las crisis urbana y rural que se presentan en aspectos vitales como producción agrícola, salud vivienda, saneamiento ambiental, generación de energía, entre otros. Estas tecnologías involucran el factor humano, representado por las comunidades organizadas, como agente identificador de problemas y soluciones adecuadas a las condiciones locales.

La comunidad es el eje central de sus propios procesos de desarrollo sostenible gracias a la democratización del Estado mediante la participación comunitaria. En éstos intereses intervienen diferentes actores de la actividad económica nacional, entre los que cuentan, el Estado, los Gremios, las Instituciones de investigación, las Universidades, y en especial, la Comunidad. En el proceso de implantación de tecnologías apropiadas las comunidades organizadas se hacen responsables del proceso de desarrollo sostenible a través del estímulo de su capacidad de gestión. Esta capacidad de gestión se adquiere mediante de un proceso educativo que permite generar metodologías de trabajo para solucionar múltiples necesidades. La comunidad pasa a ser parte de la solución y deja de lado su actitud pasiva. El trabajo de las entidades que tienen el conocimiento radica en culturizar el entorno social a través de una clasificación de los sectores de actividad económica, favoreciendo los proyectos de Tecnologías Apropriadas así como las principales entidades que se han encargado de desarrollarlos³⁴.

La cumbre mundial sobre desarrollo sostenible celebrada en Johannesburgo de Agosto 26 a Septiembre 4 del 2002 deja un balance positivo sobre la participación de Colombia, ya que se discutieron los efectos sociales, económicos y ambientales negativos causados por los métodos empleados en la industria y

³⁴ RODRÍGUEZ, G. Op.cit

agroindustria para dar disposición final a los residuales de sus procesos productivos, ya que son una amenaza latente para los bosques, la biodiversidad y el agua; destacándose su importancia al quedar plasmado en el plan de Acción para la implementación de la Agenda 21 aprobado en Johannesburgo. Además se destacaron los esfuerzos realizados en nuestro país para sacar adelante el biocomercio como un ejemplo de desarrollo sostenible. Por otro lado se ratificó el compromiso que para el 2010 por lo menos el 10% de la energía que utilizemos provenga de fuentes renovables, y Rusia y Canadá ratificaron el protocolo de Kioto con lo cual entra vigor dicho tratado internacional con el que se pueden obtener recursos para proyectos de desarrollo limpio y medidas de adaptación a los impactos negativos del cambio climático. Queda el reto de realizar un plan de seguimiento a los compromisos adquiridos en la cumbre y a continuar trabajando en la consolidación de la estrategia regional que desarrolle el potencial de la venta de servicios ambientales. Como antecedentes, se cuenta con la octava sesión de La Comisión de Desarrollo Sostenible, (mayo de 2000) en la cual, se enfatizó la importancia de una preparación temprana y efectiva a nivel nacional, regional e internacional para la revisión y evaluación de la implementación de la Agenda 21 en estos 10 años.

La Resolución 55/199 de 2000 de la Asamblea General de Naciones Unidas decidió que la Comisión de Desarrollo Sostenible, en su décimo periodo de sesiones, se reuniera como comité preparatorio (*Prepcom*) de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Las tres primeras reuniones preparatorias se llevaron a cabo en Nueva York y la cuarta y última reunión se celebró en Indonesia y contó con un segmento ministerial en el que participó el Ministerio del Medio Ambiente. Durante estas reuniones se negoció sobre la base de un borrador de Plan de Implementación, el cual fue posteriormente acordado y aprobado en Johannesburgo. El objetivo principal era el de revitalizar compromisos globales sobre desarrollo sostenible adquiridos hace diez años en la Cumbre de Río, así como movilizar apoyo político para la futura implementación de la Agenda 21.

Entre los principales resultados de la Cumbre se destaca el *Resultados tipo 1* (acuerdos negociados por todos los gobiernos), denominado *Plan de Implementación*. Este documento será el marco de actuación para los 191 países que participaron en la Cumbre de Johannesburgo. Cuenta con 65 páginas de recomendaciones y objetivos que intentan conciliar el crecimiento económico, la justicia social y la protección del medio ambiente. El Plan pretende poner en práctica los conceptos de la Agenda 21, adoptada hace diez años en la primera Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro³⁵.

³⁵ RODRIGUEZ, K. Op.cit

2. DISEÑO METODOLOGICO

La presente investigación se baso en un estudio experimental comparativo, con el fin de encontrar entre los residuos agroindustriales a utilizados el que tiene mayor rendimiento y eficiencia biológica.

El propósito de la investigación fue propiciar una alternativa productiva con base en el uso de residuos, que permitieron obtener una fuente proteica de excelente calidad y un residuo al cual se le puede dar con base a la bibliografía un uso secundario. Para lograr lo anterior se utilizaron tres tipos de residuos agroindustriales de importancia en la región los cuales en el estudio están determinados como la variable independiente (tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café); esto se tomo como base para realizar el estudio y determinar con cuál de los residuos se obtuvo mayor eficiencia biológica, cual tiene mayor índice de productividad en el menor tiempo posible en cada una de sus etapas (incubación, fructificación), tamaño de los carpóforos y cantidad de los mismos. Para lo anterior se utilizo la estructura de un diseño completamente al azar, el cual nos ayudará a verificar la hipótesis que se plantea procedimiento realizado en los laboratorios del invernadero adscrito a la escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander.

Con el fin de identificar el sustrato más óptimo para el cultivo de la seta, se realizaron 5 repeticiones por cada tratamiento, sometiendo los tratamientos bajo las mismas condiciones, diferenciándose únicamente la variable a identificar, es decir el sustrato utilizado. Al estarse manejando todos los tratamientos bajo las mismas condiciones no existieron ruidos ó algún factor que incidiera solo en algunos tratamientos en el procedimiento, al estar bajo las mismas condiciones las réplicas se permitió trabajar con un diseño estadístico completamente al azar como ya se menciona.

En Santander, debido a su posición geográfica, a su altitud, los diferentes centros encargados de investigar la producción de la arroz, café y caña entre los que se encuentran FEDEARROZ y CENICAFE, han dispuesto con base a muchas investigaciones realizadas las variedades más promisorias para cada uno de los cultivos mencionados; por lo tanto, *para el arroz*, en donde su mayor extensión cultivada en el departamento de Santander es en Sabana de Torres, se encuentran utilizado la variedad Caribe 8 y variedad Fedearroz, arroz que entre todos los destinos que tiene como disposición final se encuentran las arroceras en Bucaramanga, de donde se obtendrá el tamo de arroz. *Para el café*, CENICAFE recomienda utilizar las variedades caturra y variedad Colombia las cuáles son las que se encuentran en mayor proporción cultivadas en la región en especial la variedad caturra. *Para la* el cultivo de caña panelera dentro de las variedades más utilizadas se encuentra la variedad RD. Como se menciona, el uso inadecuado de los residuos específicamente bagazo de caña, pulpa de café y el tamo de arroz ocasiona consecuencias ambientales. Estos 3 sustratos provenientes de las variedades mencionadas se utilizaron en la investigación para el cultivo de la seta *Pleurotus ostreatus*, y entre los mismos se define cual presenta mayor rendimiento para una posterior fase piloto o escalamiento.

- **Bagazo de Caña de Azúcar.**

Figura 8. a) Cañicultores en extracción de jugo de caña. b) Bodega de bagazo de caña. c) Bagazo de caña molido



Figura 8. Continuación



Fuente. Las Autoras

Este residuo se obtuvo de un trapiche ubicado en el municipio de Piedecuesta Santander, posteriormente se realizó picado con molino tipo martillo con el que cuenta la Granja del Instituto de Educación a Distancia – INSED, hasta dejarlo a una longitud no mayor de 2cm. Posteriormente se sumergió en agua durante 6 horas y se extrajeron los lixiviados por filtración, colocando el saco donde se encontraba el bagazo de caña sobre una rejilla para facilitar eliminar el exceso de agua por filtración, después de la hidratación se esterilizó el sustrato en el autoclave durante 30 minutos a 15 libras de presión y 120 grados.

- **Pulpa de Café**

Figura 9. a) fruto de café. b) pulpa de café.



Fuente. Las Autoras

Este residuo fue proporcionado por funcionarios del Centro de Investigación del Café CENICAFE, Km. 16 vía Cúcuta; entre las características del residuo encontramos que tiene el tamaño ideal, pero contiene lixiviados del proceso del beneficio del café, para evaporar estos lixiviados sin perder las características físico químicas del residuo, se realizó secado al sol, extendiéndolo sobre el cemento y sometiéndolo a la luz solar durante 8 horas, para hidratarlo se utilizó una regadera manual, realizándose riego superficial antes de esterilizarlo y con base en la consistencia del material (prueba de puño) de ser necesario se realizó riego después de la esterilización. Cabe aclarar que para el café no se utilizó el mismo procedimiento de hidratación que el tamo de arroz debido a que el exceso de humedad del residuo ocasiona contaminación fúngica por hongos presentes en el ambiente de forma acelerada, es clave cuidar el residuo en esta fase, además que se producen apelmazamientos del material dejando el residuo en condiciones poco favorables para la producción de la seta, teniendo en cuenta que la clave del cultivo de la misma se encuentra en evitar al máximo contaminación en todas las áreas del proceso se realizó hidratación por partes pero sin sumergir para evitar exceso de humedad que conlleven a contaminación del material.

Figura 10. Pulpa de café en proceso de secado.



Fuente. Las Autoras

Para la esterilización se colocó la pulpa de café en bolsas de polipropileno calibre 1.5 ubicándolas en la autoclave manteniendo la esterilización durante 30 minutos a 15 libras de presión y 120 grados centígrados.

- **Tamo de arroz.** La obtención de este residuo se hizo por intermedio de la arrocera San Cristóbal, en donde por tratarse de una investigación nos proporcionaron el residuo de forma gratuita en un saco de fibra con capacidad de 50Kg.

Debido a que el sustrato ya cuenta con el tamaño ideal (0,5cm-2,cm) se procedió a hidratar el tamo, teniendo en cuenta que en las arroceras el porcentaje de humedad del mismo oscila entre 16-23% y entre más se aproxime este valor a 16 es mejor para la arrocera.

El saco con el tamo se sumergió completamente en agua durante 6 horas, posteriormente se eliminó el exceso de agua por filtración es decir, levantando el saco y colocándolo en una rejilla para el descenso del líquido por gravedad; cabe aclarar, que en la actualidad los productores de la seta establecidos fermentan estos lixiviados y realizan riego con este abono líquido obtenido, procedimiento interesante aunque no es causa de la presente investigación, pero que sería de importancia analizar en un estudio posterior.

Para la esterilización del tamo se introdujo el sustrato en bolsas de polipropileno de calibre 1.5, las mismas se introdujeron en la autoclave y se esterilizaron a 15 libras de presión y 120 grados centígrados, manteniendo estas condiciones durante 30° minutos.

Cabe aclarar que al hidratar el sustrato, el agua utilizada fue tratada con carbonato de calcio al 1% para facilitar el desarrollo del hongo, aclarando que de no neutralizarse el sustrato no quiere decir que el hongo no se encargue de adaptar

el pH al ir realizando la degradación del mismo quedando el mismo en rangos de pH entre 6 y 7, pero al agregar el carbonato de calcio se espera acelerar el proceso.

Figura 11. a) Proceso de esterilización. B) autoclave. C) manómetro a 15 libras de presión y 120°C.



Fuente. Las Autoras

- **Actividades realizadas para el cumplimiento del primer objetivo. Evaluación de la invasión y/o colonización del micelio en el sustrato en la etapa de incubación**

En aras de determinar la invasión del sustrato por el micelio y cumplir con el objetivo propuesto, se procedió a realizar la obtención de la semilla e inoculación de la semilla en el sustrato e incubación.

Para la siembra, se realizó cinco repeticiones por tratamiento para la obtención de los datos del análisis estadístico, todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones se sometieron bajo las mismas condiciones de temperatura, cantidad de luz, aireación, humedad, etc.

Obtención de la semilla. Es claro que de una buena semilla depende en parte el éxito de la producción de la seta *Pleurotus ostreatus*; por lo tanto, para obtener

una semilla de calidad además de garantizar que fuese suministrada por el laboratorio la especie requerida (*Pleurotus ostreatus*), se adquirió la semilla en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Antioquia.

Con el fin de tener semilla de reserva en el proceso en caso de fallar la primera siembra, se realizó repique de la semilla en granos de trigo, los mismos se hidrataron sumergiéndolos en agua durante 2 horas, filtrando el agua y esterilizándolos en el autoclave a 15 libras de presión durante 30 minutos; se dejaron enfriar los granos y se utilizaron bolsas de polipropileno de calibre 1.5, agregando el grano con el 5% de semilla y mezclando bien para garantizar la homogeneidad, se sellaron las bolsas colocándolas posteriormente en completa oscuridad cubriéndolas con bolsas negras; se dejaron en incubación hasta que el micelio colonizo completamente el sustrato, posteriormente se procedió a refrigerar la semilla para su conservación. Esta semilla fue guardada en caso de necesitar posteriormente semilla extra, por lo que no fue necesario utilizarla ya que con la semilla obtenida de laboratorio de microbiología de la Universidad de Antioquia fue suficiente para obtener los datos y realizar la investigación con base en los objetivos planteados.

Figura 12. Semilla colonizada por *Pleurotus ostreatus*.



Fuente. Las Autoras

Inoculación. Según Cardona (Cardona 2001), las condiciones apropiadas del ambiente y del sustrato al momento de la siembra de *P. ostreatus* son: humedad relativa 82 a 86%; temperatura del sustrato 27,7 a 30°C.

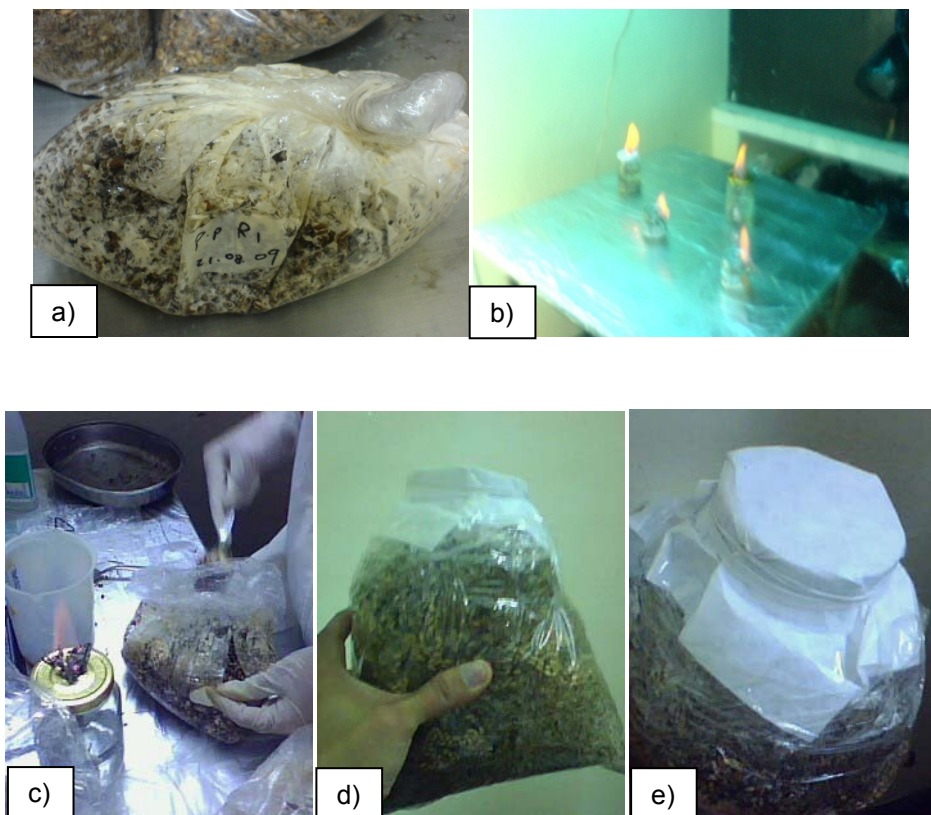
Después de realizar la esterilización y de climatizarse el sustrato se procedió a realizar la siembra. Para esto se utilizó la semilla adquirida del laboratorio de microbiología de la Universidad de Antioquia. Se realizaron cinco replicas por cada tratamiento; es decir 5 siembras por cada tipo de residuo.

Uno de los procedimientos que requiere mayor cuidado para la producción de la seta *Pleurotus ostreatus* es la siembra, de allí depende en su mayor proporción el éxito del proceso ya que es cuando el sustrato después de esterilizado queda completamente expuesto y puede adquirir algún tipo de contaminación fúngica o bacteriana proveniente del ambiente del laboratorio donde se realice la siembra; por lo tanto la asepsia en el proceso es de real importancia, para el caso, se esterilizo todo el laboratorio con hipoclorito, incluyendo paredes y estantes cercanos, además se esterilizaron todos los utensilios a utilizar como: pinzas, cucharas, recipientes, etc. Antes de realizar la siembra se expuso el cuarto de siembra a luz ultra violeta durante 6 horas, se dejo el laboratorio cerrado durante 1 hora y se procedió a realizar la siembra, la superficie donde se inocularía en cada uno de los sustratos utilizados, se flameo, se utilizaron mecheros de alcohol durante toda la siembra.

Para la inoculación se utilizo 1Kg. de sustrato, se agregó 5% de semilla y 20% de trigo como fuente de energía y Nitrógeno. Además, se agrego a cada sustrato un 1% de carbonato de Calcio como regulador del pH. En primera instancia se peso el Kilogramo de cada uno de los sustratos en la bolsa de polipropileno de calibre 1.5, se agregaron 200g. de trigo y se mezclo en la bolsa, posteriormente se agregaron 50g. del inculo y con la bolsa sellada se volvió a mezclar para garantizar la homogenización, se coloca un tubo de PVC de un diámetro

aproximado a 10cm y una longitud de 3cm. en el extremo de la bolsa, se colocó interlon para utilizarlo como filtro con ayuda del tubo de PVC realizando un collarín y sujetado con bandas elásticas garantizando la aireación necesaria que requiere la etapa de incubación, se taparon cada una de las bolsas con el sustrato inoculado con bolsas negras y se colocaron en incubación, garantizando durante todo el periodo de esta etapa la falta de iluminación. (López – Rodríguez et al. 2008). Posteriormente se llevaron las bolsas a incubar, donde el micelio del *Pleurotus ostreatus* se encargó de colonizar completamente los residuos a investigar: Pulpa de café, tamo de arroz y bagazo de caña.

Figura 13. a) semilla *Pleurotus ostreatus* b) laboratorio de siembra. c) pesaje de semilla. d) sustrato inoculado en bolsa. e) filtro utilizado en los tratamientos.



Fuente. Las Autoras

Incubación. En esta etapa las hifas del hongo se encargan de colonizar todo el sustrato, descomponiendo la lignina, y obteniendo azúcares a través de la degradación de la celulosa y hemicelulosa. Esta evolución y crecimiento se evalúa por la capacidad de colonización del hongo en el sustrato, terminándose la fase cuando el hongo ha invadido completamente el sustrato manifestándose por un cubrimiento blanco del sustrato. Todos los tratamientos estuvieron bajo completa oscuridad. En esta fase se colocaron todas las bolsas sobre estantes, realizando periódicamente revisión y control en caso de encontrarse alguna de ellas contaminadas para retirarla. Afortunadamente, en este caso no fue necesario. En esta etapa la iluminación debe ser nula.

Figura 14. a) bagazo de caña colonizándose en fase de incubación. B) bagazo de caña colonizado. c) Pulpa de café colonizada. d) tamo de arroz colonizado



Fuente. Las Autoras

Para evaluar la capacidad de colonización del hongo en cada sustrato, se utilizó un modelo estadístico completamente al azar, teniendo como variable independiente cada uno de los tres sustratos utilizados, y la variable dependiente los días de colonización.

- **Actividades realizadas para el cumplimiento del segundo objetivo. Determinar el tiempo de fructificación de la seta con cada sustrato y las características en cuanto a cantidad y tamaño de los carpóforos producidos con cada sustrato.**

Después de culminar el tiempo de incubación y de haber obtenido los datos correspondientes al tiempo de colonización en cada tratamiento, comienza la fase de fructificación, en donde el hongo necesita algunas condiciones diferentes a la fase de incubación como: luz, más aireación, espacio para fructificar, humedad en el sustrato proporcionada por riego diario, temperatura más baja a la fase de incubación pero para el caso se utilizó la temperatura ambiente, es decir 28°C. Para evaluar el tiempo de fructificación, será contado el tiempo desde el momento de la siembra hasta el momento de la fructificación, para obtener un dato real de el tiempo en donde se tiene producción de la seta *Pleurotus ostreatus*; además serán medidas variables dependientes como; cantidad de setas producidas por bolsa, tamaño de los carpóforos, y peso de las mismas.

Fructificación. Cuando termina la etapa de incubación, los sustratos deben quedar completamente compactados (tortas de sustrato) en las bolsas para pasar a la etapa de fructificación.

Por lo anterior, las bolsas negras que cubrían cada una de las replicas fueron retiradas para permitir la exposición indirecta al sol, asegurándonos que el cuarto de producción quedara en estado de semipenumbra. Se abrieron 8 agujeros de un diámetro promedio de 2cm en cada una de las bolsas para aumentar la

aireación y dar espacio para que la seta brote. Aunque algunos autores recomiendan quitar completamente la bolsa se evito este procedimiento para minimizar en la superficie de la torta focos de contaminación existentes en el ambiente.

Los tratamientos con sus replicas se colocaron sobre estantes, donde se realizó riego diario debido a que al abrir los agujeros en las bolsas o réplicas aumenta la aireación y el sustrato tiende a secarse; para la temperatura como ya se expuso se mantuvo a temperatura ambiente; además, se colocaron las replicas separadas a una distancia aproximada de 20cm para dar espacio a la seta en el momento de fructificar.

Todo el tratamiento fue realizado en la misma área de incubación pero en un estante aparte, debido a que las tortas que aun no estaban completamente colonizadas estaban completamente cubiertas con bolsas negras garantizando la oscuridad en la etapa; y para la fructificación, el cambio de fase se realizo en estantes que permitía realizar el procedimiento sin ningún inconveniente en el mismo cuarto de producción³⁶.

Véase la Figura 15.

³⁶ GUARÍN, J. Op.Cit.

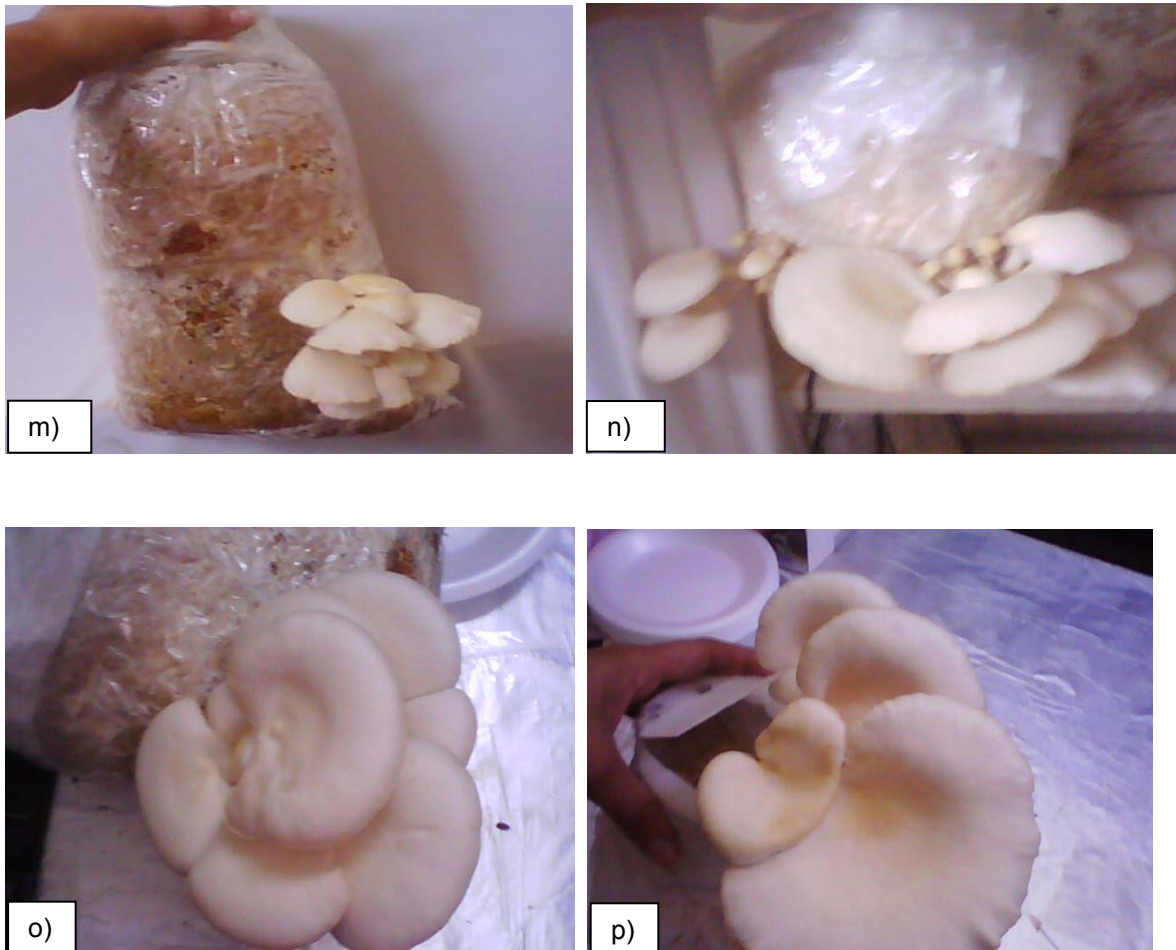
Figura 15. a) b) c) d) Setas iniciando la fase de fructificación en los diferentes sustratos e) f) g) h) i) j) k) l) m) n) ñ) o) p) setas en los diferentes sustratos completamente desarrolladas listas para cosechar



Figura 6. Continuación.



Figura 6. Continuación.



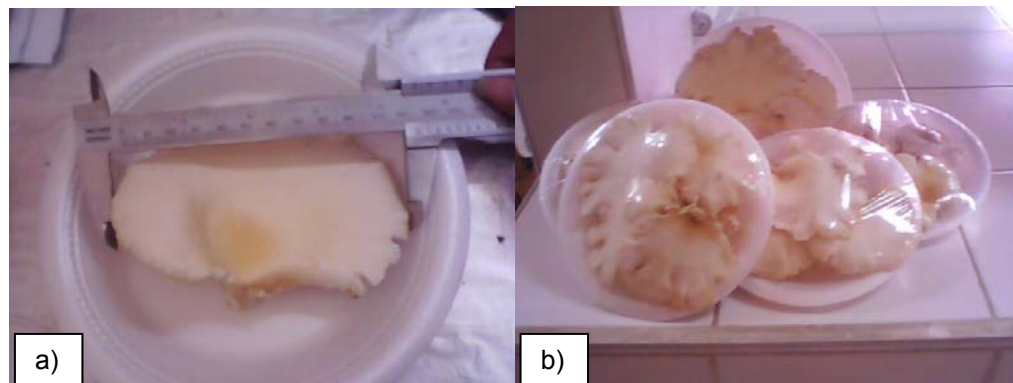
Fuente. Las Autoras

- **Actividades realizadas para el cumplimiento del tercer objetivo: Determinar el mejor rendimiento biológico.**

Cosecha. Cuando las tortas formadas por el sustrato y el micelio fructificaron, se procedió a realizar la cosecha; ésta se realiza cuando los carpóforos tienen una consistencia sólida sin amarillamientos en los bordes de las setas, las cuales posteriormente se secan; no se debe dejar pasar muchos días debido a que los carpóforos se empiezan a tornar amarillentos, lo que demuestra que la cosecha no se realizó en el tiempo propicio.

La recolección de los carpóforos se realizó de forma manual, se debe retirar el ramillete de carpóforos completamente desde el pie o estípite de la seta, tomándolo con fuerza y retirándolo para evitar que queden residuos en la torta compacta de sustrato y micelio; posteriormente se tomaron los datos para el análisis estadístico de la investigación; se contó el número de setas por cada replica de los tratamientos, se midió el diámetro en la parte más ancha de la seta y se pesó. Esto se hizo con el fin de utilizar los datos en un diseño experimental completamente al azar y realizar el respectivo análisis comparativo, es decir un análisis de varianza prueba de Duncan. Para medir la eficiencia biológica se pesaron los carpóforos producidos y se dividirá en el peso del sustrato por cien.

Figura 16. a) medición diámetro de la seta. b). setas clasificadas y empacadas



Fuente. Las Autoras

Manejo post-cosecha. Después de la recolección de datos, se clasificaron las setas por tamaños y fueron colocadas en bandejas de icopor, forrando las bandejas con vinipel y procediendo a realizar algunas recetas para colocar en cada bandeja. El sustrato utilizado se mezcló con otros residuos para compostarlo y utilizarlo posteriormente como abono ya que estudios anteriormente realizados³⁷ demuestran la eficiencia de este residuo como abono orgánico.

³⁷ BERNAL y MORENO. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009

Es claro que la comercialización de la seta *Pleurotus ostreatus* es incipiente, aunque a nivel mundial la seta tiene un lugar importante dentro de los 5 hongos comestibles más comercializados.

En Santander específicamente Bucaramanga el consumo de la seta aun no es significativo en la población, porque no se conoce, no se encuentra y de encontrarse no sé conoce la forma de preparación.

Por lo anterior; se plantea la comercialización en fresco de la seta en almacenes de cadena con el fin de dar a conocer el producto, con impulso del producto y degustación del mismo en algunas de sus diferentes preparaciones, además se plantea realizar el mercadeo del producto en hoteles, restaurantes, y buscar mercado a nivel internacional aprovechando el importante nivel de comercialización en el que se encuentra la seta a nivel mundial.

Para llevar a feliz término la comercialización del producto, inicialmente se realizó la clasificación del producto por tamaños y se coloco en bandejas de vinipell, en la misma bandeja se coloco un manual de cocina para que el consumidor conozca la forma de preparación, en el manual se encuentran recetas como: coctel de Orellana, tomates rellenos de Orellana, antipasto de Orellana banados en vino, salsa blanca de Orellana con ají y tequila.

Las recetas que conforman el manual se describen a continuación:

MANUAL RICAS Y DELICIOSAS RECETAS AL ESTILO GERCAT

Fáciles Prácticas Económicas y muy nutritivas

▪ COCTEL DE ORELLANAS



Ingredientes

- 2 tazas de orellanas picadas en cuadros
- ½ taza finamente picada de Cebolla de Huevo
- Jugo de limón
- Ajo
- 2 cucharadas de mayonesa
- 1 cucharada de salsa de tomate



Preparación

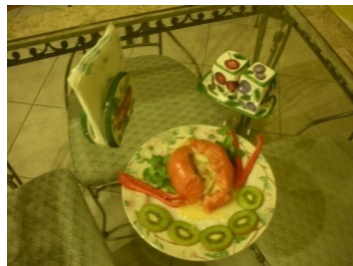
- Se mezcla la cebolla junto al limón, el ajo, la mayonesa y la salsa de tomate
- finalmente se adiciona las orellanas.
- Se sirve en una copa de vidrio y se decora con una rodaja de limón.

▪ TOMATES RELLENOS DE ORELLANAS



Ingredientes

- 400 gr de orellanas picadas en tiras
- 30 gr Crema de leche
- 20 gr Queso
- 200 gr papas
- Cilantro sal y pimienta al gusto
- 100gr cuadritos de papas cocidas



Preparación

- Cocinar las papas picadas en cuadros con sal cilantro y pimienta, dejar escurrir el agua adicionar la crema de leche y las orellanas.
- Rellenar los tomates espolvorear con el queso y llevar al horno por dos minutos.
- Servir caliente y decorar con rodajas de kiwi pimentón y lechuga.

▪ ANTIPASTO DE ORELLANAS BANADOS EN VINO



Ingredientes

- 500gr de orellanas picadas en julianas
 - 300gr de verduras (zanahoria, habichuelas, arvejas)
 - 1 pimentón rojo pequeño
 - 2 cebollas de huevo
 - 7 aceitunas
 - ½ taza de vinagre
- 3 cucharitas de salsa de tomate
 - 30 ml de aceite de oliva
 - Cilantro perejil laurel albahaca pimienta sal y azúcar



Preparación

- Cocinar todos los ingredientes picaditos en julianas al final aplicar el vino para aromatizar, el cilantro, el perejil, el laurel, la albahaca y la pimienta, la sal, el azúcar al gusto.
- Servir en copas junto a galleticas de sal.

▪ SALSA BLANCA DE ORELLANAS CON AJI Y TEKILA



Ingredientes

- 500gr de orellanas picadas en julianas
- 1 huevo
- ¼ de harina de trigo
- 30 ml de leche
- 2 cucharitas de mantequilla
- 2 copitas de tequila
- 1 ají

- Cilantro, ajo, perejil, laurel, albahaca, pimienta, sal y azúcar



Preparación

- En un sartén sofreír las orellanas en mantequilla con el ajo y un ají grande picado.
- aparte licuar la leche el huevo, la harina de trigo y poco a poco ir adicionando esta mezcla al sartén, hasta formar una consistencia de crema para untar adicionar el tequila, junto a la pimienta la sal al gusto.
- Servir con arepitas de maíz tostadas y decorar con galletas.

- **Actividades realizadas para el cumplimiento del cuarto objetivo: Establecer el sustrato que proporciona mayor índice de productividad con base en los sustratos utilizados.**

Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó todo el procedimiento descrito con anterioridad y se tomaron como base los datos obtenidos para calcular la eficiencia biológica y posteriormente la productividad; procedimiento especificado en análisis de resultados.

Los análisis estadísticos están enfocados a determinar cantidad, tamaño y peso para realizar una relación posteriormente con el tiempo y conocer el sustrato más productivo. Para el análisis de los datos es necesario determinar además del sustrato de mayor eficiencia biológica, la productividad; teniendo en cuenta que para poder determinar la productividad la cual se define como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos (cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema), por lo tanto fue clara la importancia de conocer el tiempo que se invierte en cada fase del proceso y de esta forma determinar el sustrato más productivo.

La investigación se baso en la observación y medición de datos para la obtención de un resultado, estos datos se midieron en días, peso en Kilogramos, tamaño de carpóforos determinado por centímetros del diámetro y unidades de carpóforos producidos. Para la toma de estos datos se utilizaron instrumentos como balanza digital y calibrador.

Fuentes de información. Debido a que los datos provienen directamente de la población o muestra de la población, la fuente de información fue primaria con observación directa, en donde se tomaron los datos directamente en los fenómenos a estudiar.

Para obtener una conclusión que nos lleve a determinar la veracidad de la hipótesis nula; como ya se mencionó anteriormente, el estudio consistió en la realización de tres tratamientos con cinco repeticiones cada uno, en donde se aplicó un método estadístico de diseño completamente al azar. Para la obtención de estos datos se procedió a realizar la observación de los tratamientos diariamente identificando el momento en el que el sustrato este completamente colonizado, el tiempo en el que empezaron las setas de uno de los tratamientos a fructificar y posterior medición de cada una de las variables.

Instrumentos. Los instrumentos utilizados para la toma de datos, corresponden a la variable a definir; para la medición de pesos de sustrato y setas se utilizó una balanza digital, para medir el diámetro de los carpóforos se utilizó el calibrador, los días de incubación y fructificación serán contados uno a uno y para la eficiencia biológica se relaciono el peso de las setas con peso del sustrato.

Métodos y técnicas de investigación. Se utilizó un método de diseño completamente al azar, además se utilizó la prueba de la F para conocer la veracidad de la hipótesis y la prueba de Duncan. Además, se realizaron medidas de centralización y de variabilidad, determinando la media y mediana en las medidas de centralización y la varianza y desviación estándar en las medidas de variabilidad. Lo anterior con el fin de realizar el análisis y proporcionar un resultado confiable y preciso en la investigación.

Tipo de investigación (estudio). Con base en la oportunidad que encontramos al tener disponibilidad de residuos agrícolas y agroindustriales en la región, la investigación experimental se baso en la investigación cualitativa, soportándose en que la base del estudio fue determinar cual de los sustratos proporciono setas de mayor tamaño; y cuantitativa argumentándonos en que para determinar el tipo de sustrato que proporcioné una seta con mayores cualidades es necesario utilizar métodos cuantitativos, estadísticos, que nos lleven a una conclusión precisa y

confiable, para esto se utilizaron los datos obtenidos en cada una de las fases del proceso.

2.1 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis nula. Se espera obtener una óptima productividad en los tres sustratos a analizar (tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café), donde no exista diferencia entre los variables a identificar con base en el sustrato utilizado, lo anterior con el fin de propiciar el cultivo industrial de esta seta en la región con los residuos existentes en la misma.

Hipótesis alternativa. Se espera identificar con cual de los sustratos utilizados (tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café), se obtiene una mayor productividad vs tiempo, identificando las diferencias entre estos en cada una de las variables, obteniendo como resultado el o los sustratos más propicios para la producción a escala de la seta *Pleurotus ostreatus*.

2.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES

2.2.1 Variable Independiente. Los tres sustratos utilizados: bagazo de caña, tambo de arroz y pulpa de café.

2.2.2 Variables Dependientes. Tiempo de colonización del sustrato, tiempo de fructificación, cantidad de carpóforos producidos, eficiencia biológica, tamaño de los carpóforos, peso de las setas producidas. Productividad de cada sustrato con relación en la eficiencia biológica y tiempo de producción.

- Tiempo de colonización del sustrato: Es el tiempo que llevara el micelio del *Pleurotus ostreatus* desde la siembra hasta la invasión de los sustratos utilizados, esto ocurre en la etapa de incubación a completa oscuridad.

- Tiempo de fructificación: Consiste en el tiempo que demorará el proceso hasta la producción de la primera cosecha, hasta la obtención de los primeros carpóforos, esta etapa incluye los días de incubación y los de fructificación que están más específicos en la metodología.
- Cantidad de gramos producidos por kilogramo de sustrato: Corresponde a la cantidad en gramos producido por cada bolsa de sustrato.
- Cantidad de carpóforos producidos: Se refiere al número de carpóforos producidos en el proceso productivo.
- Tamaño de los carpóforos: Se refiere al diámetro en centímetros de las setas producidas con cada uno de los sustratos.
- Eficiencia biológica: Corresponde a la relación entre el peso de la totalidad de las setas producidas sobre la cantidad de sustrato utilizado por cien.
- Peso de las setas producidas: Corresponde al peso en gramos de las setas producidas tomado inmediatamente después de cosechadas.
- Índice de Productividad: Se determinará relacionando la cantidad de gramos producidos en cada muestra por el costo de los insumos requeridos para producir los gramos.

2.3 POBLACIÓN OBJETIVO

La población a estudiar será la seta *Pleurotus ostreatus* determinando su evolución y rendimiento en cada una de las etapa productivas en los diferentes tipos de residuos agroindustriales, esta población será representada por 3 tratamientos que simbolizan cada sustrato y cada uno de ellos se realizará 5

réplicas y/o repeticiones para utilizar en el análisis de varianza los datos obtenidos con base en las variables a determinar.

2.4 SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Como se ha mencionado en el documento, el *Pleurotus ostreatus* es una seta con alto contenido proteínico, además de adaptarse de forma favorable a las condiciones del clima, es una seta que crece en varios residuos agroindustriales disponibles en la región, características que encaminaron a seleccionar esta seta para la investigación y dejar la alternativa productiva para posteriormente hacer el cultivo industrialmente.

Con el objeto de proporcionar resultados confiables en la investigación, es importante precisar que para realizar el estudio se utilizaron los residuos agroindustriales provenientes de la variedad caturra en el café, la variedad Caribe 8 y fedearroz en el arroz y la variedad RD en la caña panelera; lo anterior, con el fin de minimizar errores al hacer repetitivo el procedimiento, pues los resultados que se proporcionados en la presente investigación son con base en los residuos provenientes de las variedades mencionadas.

El tipo de muestreo a realizar fue el muestreo sistemático, debido a la facilidad de aplicación del método, extiende la muestra a toda la población de estudio y si las unidades de muestreo se ordenan a una variable conocida relacionada con la variable de estudio, se pueden obtienen grandes ganancias en precisión, factor importante en una investigación³⁸.

El tamaño muestral está determinado por el diseño que se ha realizado para el plan de análisis, en donde se realizaron tres tratamientos representados por cada

³⁸ SÁNCHEZ, G. et al. Muestreo sistemático de selección variable. Estadística española. Vol. 40, Núm. 143, 1998, págs. 5 a 31. Disponible en internet: <http://www.ine.es/revistas/estaespa/143_1.pdf>

uno de los 3 tipos de sustrato utilizado, de cada tratamiento se realizó 5 replicas y cada repetición tuvo un peso total de 1250g. por bolsa. El diseño experimental consiste en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones, el análisis estadístico radica en un análisis de varianza, prueba de Duncan.

Tabla 7. Datos obtenidos en los diferentes tratamientos realizados en cada una de las fases de la producción de la seta *Pleurotus ostreatus*.

Sustrato	BAGAZO DE CAÑA					PULPA DE CAFÉ					TAMO DE ARROZ				
Réplicas	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Días colonización	20	22	21	22	23	24	22	26	24	20	38	40	40	42	43
Días total producción	26	26	29	27	27	29	27	30	30	34	43	45	44	46	49
Gramos	148	140,4	163	161,4	127,8	69,8	112,2	118,6	70,56	63,8	22,2	24,3	37,7	32,4	11,3
Unidades	19	12	12	22	16	7	10	8	8	6	8	8	11	12	4
Diámetro de la seta en centímetros	9,70	6,30	11,20	6,30	6,85	12,80	5,40	10,80	5,45	4,55	7,00	4,25	4,55	2,95	3,00
	5,30	5,20	10,90	7,50	5,45	10,10	11,30	10,40	8,70	3,80	5,20	3,15	5,15	2,80	3,35
	6,05	4,70	5,35	7,40	9,70	3,75	7,40	9,05	4,45	9,15	4,10	3,40	4,90	3,10	3,80
	7,10	8,95	6,45	7,20	4,90	4,55	4,55	10,30	9,75	8,65	3,95	4,15	4,95	4,65	3,45
	3,20	7,65	8,70	8,25	4,90	4,20	4,95	8,75	8,60	4,70	3,55	3,95	4,30	4,20	
	4,55	7,20	7,65	8,20	10,50	9,45	3,55	7,20	3,90	7,75	3,20	2,90	3,50	5,30	
	4,10	5,35	5,35	6,85	9,10	7,35	9,60	6,50	6,90		2,90	3,10	3,95	4,40	
	10,25	9,15	9,20	9,85	7,25		8,35	9,15	4,80			3,00	2,90	4,75	
	7,90	4,25	4,10	4,95	8,90		7,25						3,35	3,20	
	9,15	3,90	3,65	11,95	5,60		6,30						3,45	2,85	
	6,70	6,10	13,40	12,15	5,65								2,75	3,30	
	8,90	8,95	4,95	7,50	4,85									3,90	
	9,20			6,45	8,35										
	6,35			6,15	7,35										
	5,15			5,70	6,35										
	6,70			4,35	5,55										
	11,60			4,15											
	12,30			4,90											
	9,85			5,10											
				6,60											
				4,80											
				7,80											

Granataria con incertidumbre de $\pm 0.1g$, para medir el diámetro en centímetros se utilizó un calibrador tipo vernier con incertidumbre $\pm 0.05mm$.

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Como ya se mencionó, el estudio estadístico consiste en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento, y para el análisis estadístico se utilizó un análisis de varianza por prueba de Duncan.

Para determinar la veracidad de la hipótesis nula que se ha planteado para un estudio determinado se calculó el valor estadístico de la prueba F; si se corroboran diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de Duncan y posteriormente con base en los resultados de las pruebas estadísticas se determinó si existen diferencias significativas entre los tratamientos y cuál de los sustratos demuestra ser más óptimo con base en el estudio de las variables para la producción de la seta *Pleurotus ostreatus*³⁹.

2.5.1 Análisis para la evaluación de la primera variable dependiente: Tiempo de colonización del sustrato. Con base en los resultados obtenidos, se observó en los sustratos como bagazo de caña y pulpa de café un comportamiento similar en la fase de incubación, demostrándose cubrimiento del sustrato por parte de las hifas en un total de 22 días en promedio; por el contrario en el tamo de arroz se obtuvo un resultado poco favorable, ya que el mismo demora 38 días en su etapa de colonización, lo cual hace que se aumenten costos de producción al realizar el cultivo industrialmente. Con los resultados obtenidos, se realizó el diseño completamente al azar, se calculó el valor estadístico de la prueba F para corroborar la veracidad de la hipótesis nula, y para comparar las medias de los tratamientos al tener diferencia significativa se utilizó el método de comparación de rangos múltiples de Duncan.

³⁹ CONTRERAS, H. Seminario de investigación avanzada. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Instituto de Educación a Distancia, 2003.

Como ya se mencionó, para la evaluación de la capacidad de colonización en cada uno de los sustratos en la etapa de incubación, se utilizó como variable dependiente los días de colonización de cada una de las replicas, dando como resultado los siguientes datos en cada uno de los tratamientos.

Tabla 8. Días de colonización de las réplicas en cada uno de los tratamientos

Tratamiento	Días colonización en cada replica				
T1. Bagazo de caña	20	22	21	22	23
T 2 Pulpa de Café	24	22	26	24	25
T 3 Tamo de arroz	38	40	40	42	43

Fuente. Las Autoras

Para iniciar con el análisis primero se organizó la información.

Tabla 9. Presentación modelo de datos para un experimento bajo un diseño completamente al azar.

Tratamiento	Días colonización en cada replica					Totales	Promedios
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 4	Replica 5		
T 1 Bagazo de caña	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	$Y_{1.}$	\bar{Y}_1
T 2 Pulpa de Café	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	Y_{25}	$Y_{2.}$	\bar{Y}_2
T 3 Tamo de arroz	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	Y_{35}	$Y_{3.}$	\bar{Y}_3
						$Y_{..}$	$\bar{Y}_{..}$

Fuente. Las Autoras

Tabla 10. Organización inicial de la información días de colonización

Tratamiento	Días colonización en cada replica					Totales	Promedios
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 4	Replica 5		
T1. Bagazo de caña	20	22	21	22	23	108	21.6
T 2 Pulpa de Café	24	22	26	24	25	116	23.2
T 3 Tamo de arroz	38	40	40	42	43	203	40.6
						427	28.46

Fuente. Las Autoras

Tabla 11. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el F calculado de la etapa de colonización.

	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Suma media de cuadrados	Estadístico prueba f
Tratamiento	2	1110.5	555.27	161.74
Error	12	3.4333	3.4333	
TOTAL	14			

Fuente. Las Autoras

Determinación de la suma de las observaciones de cada tratamiento

Para el tratamiento T1:

$$Y_1 = 20+22+21+22+23$$

$$Y_1 = 108$$

Se realizó el mismo procedimiento en cada tratamiento

Determinación de la media de la suma de las observaciones de cada tratamiento.

Media de la suma de las observaciones del tratamiento T1:

$$\bar{Y}_1 = Y_1 / \text{número de observaciones}$$

$$\bar{Y}_1 = 108/5$$

$$\bar{Y}_1 = 21.6$$

Media de la suma de las observaciones del tratamiento T2:

$$\bar{Y}_2 = Y_2 / \text{número de observaciones}$$

$$\bar{Y}_2 = 116/5$$

$$\bar{Y}_2 = 23.2$$

Media de la suma de las observaciones del tratamiento T3:

$$\bar{Y}_2 = Y_3 / \text{número de observaciones}$$

$$\bar{Y}_3 = 203/5$$

$$\bar{Y}_3 = 40.6$$

- **Determinación del estadístico de prueba F.** Se inicia con la determinación de la suma de cuadrados total SC_{total} , que es la suma de los cuadrados de las desviaciones de la media.

$$SC_{\text{total}} =$$

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SC_{\text{total}} = 20^2 + 22^2 + 21^2 + \dots + 40^2 + 42^2 + 43^2 - \frac{427^2}{15}$$

$$SC_{\text{total}} = 13307 - 12155.27$$

$$SC_{\text{total}} = 1151.73$$

Donde:

$$N = n \times a; y$$

a = número de tratamientos

n = número de observaciones y/o replicas por tratamiento

Ahora se determina la suma de cuadrados de los tratamientos

$$SC_{\text{tratamientos}} = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n} - \frac{y^2}{N}$$

$$SC_{\text{tratamientos}} = \frac{108^2 + 116^2 + 203^2}{5} - \frac{427^2}{15}$$

$$SC_{\text{tratamientos}} = 1110.53$$

Ahora se determina la suma de cuadrados del error

$$SC_{\text{error}} = SC_{\text{total}} - SC_{\text{tratamientos}}$$

$$SC_{\text{error}} = 1151.73 - 1110.53 = 41.2$$

Determinación de los grados de libertad del total

Se obtienen a partir de la relación $a \cdot n - 1$ por lo que se tendrían $(3 \times 5 - 1)$ grados de libertad dando como resultado final 14.

Determinación de los grados de libertad de los tratamientos

Los grados de libertad de los tratamientos se obtienen a partir de la relación $a - 1$, por lo que se tendrían $3 - 1$ grados de libertad dando como resultado final 2.

Determinación de los grados de libertad del error

Se obtiene a partir de la relación $a(n-1)$, por lo que se tendrían $3(5-1)$ grados de libertad dando como resultado final 12.

a = número de tratamientos

n = número de observaciones y/o replicas por tratamiento

Determinación de la suma media de cuadrados para los tratamientos $SC_{\text{tratamientos}}$, (es otro término para estimación de la varianza), Se calcula dividiendo el valor de SC de los tratamientos por los grados de libertad así:

$$SMC_{\text{tratamientos}} = \frac{SC_{\text{tratamientos}}}{GL_{\text{tratamientos}}}$$

$$SMC_{\text{tratamientos}} = \frac{1110.53}{2}$$

$$SMC_{\text{tratamientos}} = 555.265$$

Determinación de la suma media de cuadrados para el error SMC_{Error} .

$$SMC_{Error} = \frac{SC_{Error}}{GL_{Error}}$$

$$SMC_{Error} = \frac{41.2}{12}$$

$$SMC_{Error} = 3.433$$

Determinación del estadístico de prueba F (Se calcula con el fin de determinar la validez o no de la hipótesis nula a un nivel de significancia α).

$$F_{CALCULADO} = \frac{SMC_{Tratamientos}}{SMC_{Error}}$$

$$F_{CALCULADO} = \frac{555.265}{3.433}$$

$$F_{CALCULADO} = 161.74$$

Vale la pena resaltar que F estadístico de prueba se representará para algunos efectos como $F_{CALCULADO}$, y F_0 estandarizado se reemplazará por F_{TABLA}

Para ubicar el F_{TABLA} se deben tener dos datos: el nivel de significancia o probabilidad máxima de cometer el error que para el caso se uso con nivel de significancia de 0.05 y los grados de libertad de la experimentación.

Tabla 12. Puntos porcentuales de distribución F0, para un nivel de significancia de 0.05.

GL	GRADOS DE LIBERTAD TRATAMIENTO								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
grados de libertad del error	1	5,830	7,500	8,200	8,580	8,820	8,890	2,368	2,389
	2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,36	19,33	19,35	19,37
	3	10,13	9,550	9,280	9,120	9,010	8,940	8,890	8,850
	4	7,710	6,940	6,590	6,390	6,260	6,160	6,090	6,040
	5	6,610	5,790	5,410	5,190	5,050	4,950	4,880	4,820
	6	5,990	5,140	4,760	4,530	4,290	4,280	4,210	4,150
	7	5,590	4,740	4,350	4,120	3,970	3,870	3,790	3,730
	8	5,320	4,460	4,070	3,840	3,690	3,580	3,500	3,440
	9	5,120	4,260	3,860	3,630	3,480	3,370	3,290	3,230
	10	4,960	4,100	3,710	3,480	3,330	3,220	3,140	3,070
	11	4,840	3,980	3,590	3,360	3,200	3,090	3,010	2,950
	12	4,750	3,890	3,490	3,260	3,110	3,000	2,910	2,850
	13	4,670	3,810	3,410	3,180	3,030	2,920	2,830	2,770
	14	4,600	3,740	3,340	3,110	2,960	2,850	2,760	2,700
	15	4,540	3,680	3,290	3,060	2,900	2,790	2,710	2,640
	16	4,490	3,630	3,240	3,010	2,850	2,740	2,660	2,590
	17	4,450	3,590	3,200	2,960	2,810	2,700	2,610	2,550

Fuente. Las Autoras

Para corroborar alguna de las hipótesis que se plantean, se procede a darle solución, desde el siguiente criterio de decisión; sí:

$F_{\text{CALCULADO}} \geq F_{\text{TABLA}}$ entonces H_0 se rechaza

$F_{\text{CALCULADO}} (161.74) \geq F_{\text{TABLA}} (3.890)$ entonces H_0 se rechaza

Teniendo en cuenta que se planteo la hipótesis general para el proyecto, para cada una de las etapas se plantean hipótesis nula y alternativa específicas, lo cual facilite el análisis de cada una de las variables medidas, es importante aclarar que aunque se plantean hipótesis específicas en cada uno de los análisis para facilitar la comparación del parámetro medido, las mismas se derivan de la hipótesis

general para obtener un resultado preciso y exacto; por lo tanto la hipótesis nula de la fase de incubación será:

Se espera obtener óptima capacidad de colonización en la etapa de incubación del micelio con los tres cultivos a analizar (tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café), donde no exista diferencia entre la variable dependiente (tiempo de incubación) con base en el sustrato utilizado, lo anterior con el fin de medir el tiempo que se demora el proceso en esta etapa.

Y la hipótesis alternativa en fase de incubación:

Se espera identificar con cuál de los sustratos utilizados: tambo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café se observa incubación del sustrato en el menor tiempo posible.

Para el caso el grado de libertad del tratamiento fue 2 y el grado de libertad del error fue 12; por lo tanto, la F tabla fue igual a 3.890, entonces:

$$F_{\text{CALCULADO}} = 161.74$$

$$F_{\text{TABLA}} = 3.890$$

$F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabla}}$ entonces H_0 se descarta

Con un nivel de significancia de 0.05, podemos afirmar que los diferentes sustratos utilizados (pulpa de café, tambo de arroz y bagazo de caña) afectan de manera significativa el tiempo de colonización del sustrato, aumentando o disminuyendo de acuerdo al sustrato la fase de incubación.

- **Prueba de rangos múltiples de Duncan.** Ya que se comprobó que existe diferencia significativa entre los resultados dados en los tratamientos, se

determinó que tanto difieren los tratamientos entre sí utilizando la prueba de Duncan.

Ordenar las medias (\bar{y}_i) de los tratamientos en orden ascendente.

Para el caso el orden ascendente no es el de mayor número de días, por el contrario es el tratamiento del que se obtuvo en las medias menor número de días en la incubación.

$$T3 = 40.6$$

$$T2 = 23.2$$

$$T1 = 21.6$$

Calculo del valor estándar

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{SMC\ Error}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{3.433}{5}}$$

$$S_{\bar{y}_i} = 0.8286$$

Donde SMC_{ERROR} fue calculado con anterioridad.

n es el número de observaciones en cada tratamiento.

De la tabla de Duncan obtener los valores $r_{\infty}(p, f)$

Donde:

∞ = nivel de significancia

P= número de tratamientos desde 2 hasta un número finito a.

F = grados de libertad del error

$$r_{(0.05)}(2, 12) = 3.08$$

$$r_{(0.05)}(3, 12) = 3.23$$

Tabla 13. Rangos significativos para la prueba de rangos múltiples de Duncan, para un nivel de significancia de 0.05

F	P						
	2	3	4	5	6	7	8
1	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
2	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09
3	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
4	3,93	4,01	4,02	4,02	4,02	4,02	4,02
5	3,64	3,74	3,79	3,83	3,83	3,83	3,83
6	3,46	3,58	3,64	3,68	3,68	3,68	3,68
7	3,35	3,47	3,54	3,58	3,60	3,61	3,31
8	3,26	3,39	3,47	3,52	3,55	3,56	3,56
9	3,20	3,34	3,41	3,47	3,50	3,52	3,52
10	3,15	3,30	3,37	3,43	3,46	3,47	3,47
11	3,11	3,27	3,35	3,39	3,43	3,44	3,45
12	3,08	3,23	3,33	3,36	3,40	3,42	3,44
13	3,06	3,21	3,30	3,35	3,38	3,41	3,42
14	3,03	3,18	3,27	3,33	3,37	3,39	3,41
15	3,01	3,16	3,25	3,31	3,36	3,38	3,40
16	3,00	3,15	3,23	3,30	3,34	3,37	3,39

Fuente. Las Autoras

Determinar los rangos críticos $R_p = r_{\infty}(p,f) \times S_{y\bar{r}}$

Para el caso, ya se calcularon los diferentes $r_{\infty}(p,f)$ y $S_{y\bar{r}}$. Entonces los rangos críticos son:

$$R_2 = r_{0,05}(2,12) \times 0.8286 \qquad 3.08 \times 0.8286 = 2.55$$

$$R_3 = r_{0,05}(3,12) \times 0.8286 \qquad 3.23 \times 0.8286 = 2.676$$

Ahora se procedió a realizar comparación de la diferencia significativa de las medias de los tratamientos con los rangos críticos al que pertenecen.

$$T_3 \text{ contra } T_1 = 40.6 - 21.6 = 19 \geq 2.676$$

$$T_3 \text{ contra } T_2 = 40.6 - 23.2 = 17.4 \geq 2.55$$

$$T_2 \text{ contra } T_1 = 23.2 - 21.6 = 1.6 \leq 2.676$$

2.5.2 Análisis para la evaluación de la segunda variable dependiente: Tiempo de fructificación. Para cumplir con el objetivo se realizaron diferentes medidas: se contaron los días de fructificación de la seta (contando el tiempo de incubación hasta la producción de la primera cosecha), se conto la cantidad de setas producidas en gramos en relación con la cantidad de sustrato utilizado y el tamaño de los carpóforos en cada uno de los tratamientos.

Para todos los análisis estadísticos se realizó el modelo descrito anteriormente, se calculo el valor estadístico de la prueba F para corroborar la veracidad de la hipótesis y en caso de ser rechazada la hipótesis nula se realizó el método de comparación de rangos múltiples de Duncan.

Para realizar la evaluación comparativa de los días de fructificación identificada como variable dependiente, se contaron los días de incubación y fructificación de la primera cosecha; nuevamente la variable independiente será los diferentes sustratos utilizados.

Hipótesis nula en fase de fructificación. Se espera obtener producción de la seta en el menor tiempo posible con los tres sustratos a analizar (tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café), donde no exista diferencia entre la variable dependiente (tiempo de fructificación) con base en el sustrato utilizado, lo anterior con el fin de medir el tiempo que se demora el proceso en esta etapa.

Y la hipótesis alternativa en fase de fructificación:

Se espera identificar con cuál de los sustratos utilizados: tambo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café; se obtiene producción del sustrato en el menor tiempo posible describiéndose la etapa de fructificación como el tiempo que demora en dar producción cada seta desde su siembra hasta la primera cosecha.

Tabla 14. Organización inicial de la información análisis días de fructificación

Tratamiento	Días fructificación en cada replica					Totales	Promedios
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 4	Replica 5		
T1. Bagazo de caña	26	26	29	27	27	135	27
T 2 Pulpa de Café	29	27	30	30	34	150	30
T 3 Tamo de arroz	43	45	44	46	49	227	45.4
						512	34.13

Fuente. Las Autoras

▪ **Determinación del estadístico de prueba F.**

Tabla 15. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el F calculado análisis días de fructificación.

	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Suma media de cuadrados	Comparación Estadístico prueba f
Tratamiento	2	974.53	487.265	109.909
Error	12	53.2	4.43	
TOTAL	14	1027.73		

Fuente. Las Autoras

F calculado \geq F tabla entonces H_0 se descarta

$$109.909 \geq 3.890$$

Con un nivel de significancia de 0.05, podemos afirmar que los diferentes sustratos utilizados: pulpa de café, tamo de arroz y bagazo de caña; afectan de manera significativa el tiempo de fructificación de la seta con base en el sustrato, aumentando o disminuyendo de acuerdo al sustrato la fase de fructificación.

- **Prueba de rangos múltiples de Duncan.** Ya que se comprobó que existe diferencia significativa entre los resultados dados en los tratamientos, se determinó que tanto difieren los tratamientos entre sí utilizando la prueba de Duncan.

Ordenar las medias ($\bar{y}_{i.}$) de los tratamientos en orden ascendente.

Para el caso el orden ascendente no es el de mayor número de días, por el contrario es el tratamiento del que se obtuvo en las medias menor número de días en la fructificación.

$$T3 = 45.4$$

$$T2 = 30$$

$$T1 = 27$$

Valor estándar

$$S_{\bar{y}_{i.}} = 0.9412$$

De la tabla de Duncan obtener los valores $r_{\infty}(p, f)$

Donde:

∞ = nivel de significancia

P= número de tratamientos desde 2 hasta un número finito a.

F = grados de libertad del error

$$r_{(0.05)}(2, 12) = 3.08$$

$$r_{(0.05)}(3, 12) = 3.23$$

Determinar los rangos críticos $R_p = r_{\infty}(p, f) \times S_{\bar{y}_T}$

Para el caso, ya se calcularon los diferentes $r_{\infty}(p,f)$ y S_{y_j} . Entonces los rangos críticos son:

$$R2 = r_{0.05}(2.12) \times 0.9412 \qquad 3.08 \times 0.9412 = 2.8988$$

$$R3 = r_{0.05}(3.12) \times 0.9412 \qquad 3.23 \times 0.9412 = 3.040076$$

Ahora se procedió a realizar comparación de la diferencia significativa de las medias de los tratamientos con los rangos críticos al que pertenecen.

$$T3 \text{ contra } T1 = 45.4 - 27 = 18.4 \geq 3.040076$$

$$T3 \text{ contra } T2 = 45.4 - 30 = 15.4 \geq 2.8988$$

$$T2 \text{ contra } T1 = 30 - 27 = 3 \leq 3.040076$$

2.5.3 Análisis para la evaluación de la tercera variable dependiente: Cantidad de setas producidas en gramos por kilogramo de sustrato. Hipótesis nula en cuanto a cantidad producida en gramos por cada tratamiento.

Se espera obtener producción de la seta en los diferentes sustratos: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café, sin que exista diferencia significativa entre la variable dependiente (gramos de setas producidas) con base en el sustrato utilizado.

Y la hipótesis alternativa:

Se espera identificar con cuál de los sustratos utilizados: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café; se obtiene mayor producción de la seta con base a los diferentes sustratos utilizados.

Tabla 16. Organización inicial de la información cantidad de setas en gramos producidas en cada replica.

Tratamiento	Gramos de setas producidas por muestra					Totales	Promedio
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 4	Replica 5		
T1. Bagazo de caña	148	140.4	163	161.4	127.8	740.6	148.12
T 2 Pulpa de Café	69.8	112.2	118.6	70.56	63.8	434.96	86.992
T 3 Tamo de arroz	22.2	24.3	37.3	32.4	11.3	127.9	25.58
						1303.46	

Fuente. Las Autoras

- **Determinación del estadístico de prueba F**

Tabla 17. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el F calculado cantidad de setas en gramos producidas en cada replica.

	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Suma media de cuadrados	Comparación Estadístico prueba f
Tratamiento	2	37540.196	18770.098	56.04925
Error	12	4018.6293	334.885775	
TOTAL	14	41558.82549		

Fuente. Las Autoras

F calculado \geq F tabla entonces H_0 se descarta

$$56.04925 \geq 3.890$$

Con un nivel de significancia de 0.05, podemos afirmar que los diferentes sustratos utilizados: pulpa de café, tamo de arroz y bagazo de caña; afectan de manera significativa la producción de la seta en los diferentes tratamientos.

- **Prueba de rangos múltiples de Duncan.** Ya que se comprobó que existe diferencia significativa entre los resultados dados en los tratamientos, se

determinó que tanto difieren los tratamientos entre sí utilizando la prueba de Duncan.

Ordenar las medias (\bar{y}_i) de los tratamientos en orden ascendente.

$$T3 = 25.58$$

$$T2 = 86.992$$

$$T1 = 148.12$$

Valor estándar

$$S_{\bar{y}_i} = 8.1839$$

De la tabla de Duncan obtener los valores $r_{\infty}(p, f)$

Donde:

∞ = nivel de significancia

P= número de tratamientos desde 2 hasta un número finito a.

F = grados de libertad del error

$$r_{(0.05)}(2, 12) = 3.08$$

$$r_{(0.05)}(3, 12) = 3.23$$

Determinar los rangos críticos $R_p = r_{\infty}(p, f) \times S_{y_i}$

Para el caso, ya se calcularon los diferentes $r_{\infty}(p, f)$ y S_{y_i} . Entonces los rangos críticos son:

$$R2 = r_{0.05}(2, 12) \times 8.1839 \qquad 3.08 \times 8.1839 = 25.206$$

$$R3 = r_{0.05}(3, 12) \times 8.1839 \qquad 3.23 \times 8.1839 = 26.4339$$

Ahora se procedió a realizar comparación de la diferencia significativa de las medias de los tratamientos con los rangos críticos al que pertenecen.

$$T1 \text{ contra } T3 = 148.12 - 25.58 = 122.54 \geq 26.4339$$

$$T1 \text{ contra } T2 = 148.12 - 86.992 = 61.128 \geq 25.206$$

$$T2 \text{ contra } T3 = 86.992 - 25.58 = 61.412 \geq 26.4339$$

2.5.4 Análisis para la evaluación de la cuarta variable dependiente: Cantidad de setas producidas en cada uno de los tratamientos. Hipótesis nula en cuanto al número de setas producidas.

Se espera mantener el promedio de setas producidas en los diferentes sustratos: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café, sin que exista diferencia entre la variable dependiente la cantidad de setas producidas, con base en el sustrato utilizado.

Y la hipótesis alternativa con respecto a la cantidad de setas producidas:

Se espera identificar con cuál de los sustratos utilizados: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café; se obtiene mayor cantidad de setas con base a los diferentes sustratos utilizados.

Tabla 18. Organización inicial de la información cantidad de setas producidas.

Tratamiento	Número de setas por muestra					Totales	Promedios
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 4	Replica 5		
T1. Bagazo de caña	19	12	12	22	16	81	16.2
T 2 Pulpa de Café	7	10	8	8	6	39	7.8
T 3 Tamo de arroz	8	8	11	12	4	43	8.6
						163	

Fuente. Las Autoras

- **Determinación del estadístico de prueba F**

Tabla 19. Consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el F calculado cantidad de setas producidas.

	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Suma media de cuadrados	Comparación Estadístico prueba f
Tratamiento	2	214.93	107.465	10.33
Error	12	124.8	10.4	
TOTAL	14	339.73		

Fuente. Las Autoras

F calculado \geq F tabla entonces H_0 se descarta

$$10.33 \geq 3.890$$

Con un nivel de significancia de 0.05, podemos afirmar que los diferentes sustratos utilizados: pulpa de café, tamo de arroz y bagazo de caña; afectan de manera significativa la cantidad de setas producidas por los diferentes tratamientos.

- **Prueba de rangos múltiples de Duncan.** Ya que se comprobó que existe diferencia significativa entre los resultados dados en los tratamientos, se determinó que tanto difieren los tratamientos entre sí utilizando la prueba de Duncan.

Ordenar las medias (\bar{y}_i) de los tratamientos en orden ascendente.

$$T2 = 39$$

$$T3 = 43$$

$$T1 = 81$$

Valor estándar

$$S_{\bar{y}_i} = 1.4422$$

De la tabla de Duncan obtener los valores $r_{\infty}(p, f)$

Donde:

∞ = nivel de significancia

P= número de tratamientos desde 2 hasta un número finito a.

F = grados de libertad del error

$$r_{(0.05)}(2, 12) = 3.08$$

$$r_{(0.05)}(3, 12) = 3.23$$

Determinar los rangos críticos $R_p = r_{\infty}(p, f) \times S_{\bar{y}_i}$

Para el caso, ya se calcularon los diferentes $r_{\infty}(p, f)$ y $S_{\bar{y}_i}$. Entonces los rangos críticos son:

$$R_2 = r_{0.05}(2, 12) \times 1.4422 \qquad 3.08 \times 1.4422 = 4.44$$

$$R_3 = r_{0.05}(3, 12) \times 1.4422 \qquad 3.23 \times 1.4422 = 4.6583$$

Ahora se procedió a realizar comparación de la diferencia significativa de las medias de los tratamientos con los rangos críticos al que pertenecen.

$$T_1 \text{ contra } T_2 = 81 - 39 = 42 \geq 4.6583$$

$$T_1 \text{ contra } T_3 = 81 - 43 = 38 \geq 4.44$$

$$T_3 \text{ contra } T_2 = 43 - 39 = 4 \leq 4.6583$$

2.5.5 Análisis para la evaluación de la quinta variable dependiente: Determinación del tamaño de setas en centímetros producidas con base en el sustrato utilizado.

Hipótesis nula en cuanto al tamaño de setas en centímetros.

Se espera mantener el promedio del tamaño de las setas en los diferentes sustratos: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café, sin que exista diferencia entre la variable dependiente; es decir, el tamaño de las setas.

Y la hipótesis alternativa con respecto a la tamaño de setas en centímetros:

Se espera identificar con cuál de los sustratos utilizados: tamo de arroz, bagazo de caña y pulpa de café se obtiene mayor tamaño en el diámetro de las setas, proporcionando setas de un tamaño competitivo en un mercado para comercialización en fresco.

Tabla 20. Organización inicial de la información tamaño de setas en cada replica.

Tratamiento	Diámetro de las setas en centímetros					Totales	Promedios
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 4	Replica 5		
T1. Bagazo de caña	7.582	6.475	7.58	7	6.593	35.59	7.118
T 2 Pulpa de Café	7.46	6.865	9.019	6.569	6.43	36.343	7.2686
T 3 Tamo de arroz	4.27	3.49	3.98	3.78	3.4	18.92	3.784
						90.853	

Fuente. Las Autoras

- **Determinación del estadístico de prueba F.**

Tabla 21. consignación de datos obtenidos en cada uno de los procedimientos realizados para determinar el F calculado tamaño de setas en cada replica.

	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Suma media de cuadrados	Comparación Estadístico prueba f
Tratamiento	2	38.801	19.40	40.416
Error	12	5.8478	0.48	
TOTAL	14	44.649		

Fuente. Las Autoras

F calculado \geq F tabla entonces H_0 se descarta

$$40.416 \geq 3.890$$

Con un nivel de significancia de 0.05, podemos afirmar que los diferentes sustratos utilizados: pulpa de café, tamo de arroz y bagazo de caña; afectan de manera significativa la cantidad de setas producidas por los diferentes tratamientos.

- **Prueba de rangos múltiples de Duncan.** Ya que se comprobó que existe diferencia significativa entre los resultados dados en los tratamientos, se determinó que tanto difieren los tratamientos entre sí utilizando la prueba de Duncan.

Ordenar las medias (\bar{y}_i) de los tratamientos en orden ascendente.

$$T3 = 18.92$$

$$T1 = 35.59$$

$$T2 = 36.343$$

Valor estándar

$$S_{\bar{y}_i} = 0.3098$$

De la tabla de Duncan obtener los valores $r_{\infty}(p, f)$

Donde:

∞ = nivel de significancia

P= número de tratamientos desde 2 hasta un número finito a.

F = grados de libertad del error

$$r_{(0.05)}(2, 12) = 3.08$$

$$r_{(0.05)}(3, 12) = 3.23$$

Determinar los rangos críticos $R_p = r_{\infty}(p, f) \times S_{\bar{y}_i}$

Para el caso, ya se calcularon los diferentes $r_{\infty}(p, f)$ y $S_{\bar{y}_i}$. Entonces los rangos críticos son:

$$R_2 = r_{0.05}(2, 12) \times 0.3098 \qquad 3.08 \times 0.3098 = 0.954$$

$$R_3 = r_{0.05}(3, 12) \times 0.3098 \qquad 3.23 \times 0.3098 = 1.0006$$

Ahora se procedió a realizar comparación de la diferencia significativa de las medias de los tratamientos con los rangos críticos al que pertenecen.

$$T_2 \text{ contra } T_3 = 36.343 - 18.92 = 17.423 \geq 1.0006$$

$$T_2 \text{ contra } T_1 = 36.343 - 35.59 = 0.753 \leq 0.954$$

$$T_1 \text{ contra } T_3 = 35.59 - 18.92 = 16.67 \geq 1.006$$

2.5.6 Análisis para la evaluación de la sexta variable dependiente: Eficiencia biológica. Para determinar la eficiencia biológica, se relaciono la media del peso de setas en gramos producidos por tratamiento Vs gramos de sustrato.

Para el tratamiento número 1. Bagazo de caña:

$$\frac{148.12}{1200} \times 100 = 12.34\%$$

Para el tratamiento número 2. Pulpa de café:

$$\frac{86.992}{1200} \times 100 = 7.24\%$$

Para el tratamiento número 3. Tamo de Arroz:

$$\frac{25.58}{1200} \times 100 = 2.13\%$$

Tabla 22. Comparación de la eficiencia biológica con los días necesarios para obtener la eficiencia biológica.

Tratamiento	Eficiencia biológica	Días para fructificar
TRATAMIENTO 1. BAGAZO DE CAÑA	12.34%	27
TRATAMIENTO 2. PULPA DE CAFÉ	7.24%	30
TRATAMIENTO 3. TAMO DE ARROZ	2.13%	45.4

Fuente. Las Autoras

2.5.7 Análisis para la evaluación de la séptima variable dependiente: Índice de Productividad. Para calcular el índice de productividad se determinó la relación existente entre mil gramos de setas y los costos de insumos para producir los mil gramos.

$$\text{Índice de Productividad} = \frac{1000 \text{ gramos setas}}{\text{costo insumos}}$$

Costo insumos:

Para determinar el costo de los insumos se hizo un estimativo donde se tuvo en cuenta el costo de los mismos al por mayor, la inversión realizada por compra de materiales, se valoro el desgaste en los insumos que se utilizan para varias siembras y el arrendamiento de equipos y laboratorio.

Tabla 23. Costos de producción de los recursos utilizados por kilogramo de sustrato.

Detalle	V/r en pesos insumos Bagazo de Caña	V/r en pesos insumos Pulpa de Café	V/r en pesos insumos Tamo de arroz
Sustrato	90	60	181
Semilla	300	300	300
Trigo	100	100	100
Bolsas	50	50	50
Tubo PVC	10	10	10
Filtro	20	20	20
Cinta	5	5	5
Ligas	10	10	10
Arrendamiento instalaciones y equipos	80	80	80
Transporte	50	50	50
Mano de obra	80	80	80
Total costos por kilogramo sustrato	\$795	\$765	\$886

Fuente: Las autoras

Tomando los promedios de los gramos producidos por cada se determinó la productividad por tratamiento.

- Para el tratamiento número 1. Bagazo de caña:

Teniendo en cuenta que el promedio de las muestras en el tratamiento fue 148.12 gramos, para obtener 1000 gramos de setas se necesitó:

$$\frac{1000 \text{ gramos}}{148.12 \text{ gramos setas}} = 6.75 \text{ muestras}$$

Se necesita 6.75 muestras con bagazo de caña para producir 1000 gramos de setas, por lo tanto el índice de productividad será:

$$\text{Índice Productividad} = \frac{1000 \text{ gramos}}{5366.25} = 0.1863$$

- Para el tratamiento número 2. Pulpa café:

Teniendo en cuenta que el promedio de las muestras en el tratamiento fue 86.992 gramos, para producir 1000 gramos se necesitó:

$$\frac{1000 \text{ gramos}}{86.992 \text{ gramos setas}} = 11.49 \text{ muestras}$$

Se necesita 11.49 muestras con pulpa de café para producir 1000gramos de setas, por lo tanto el índice de productividad será:

$$\text{Índice Productividad} = \frac{1000g.}{8789.85} = 0.1137$$

- Para el tratamiento número 3. Tamo de arroz:

Teniendo en cuenta que el promedio de las muestras en el tratamiento fue 25.58 gramos, para producir 1000 gramos se necesitó:

$$\frac{1000 \text{ gramos}}{25.58 \text{ gramos setas}} = 39.09 \text{ muestras}$$

Se necesita 39.09 muestras con tamo de arroz para producir 1000 gramos de setas, por lo tanto el índice de productividad será:

$$\text{Índice Productividad} = \frac{1000g.}{34633.74} = 0.02887$$

Evidentemente el sustrato que proporciona el mejor índice de productividad es el bagazo de caña, teniendo claro esto se procedió a realizar un estimativo de la rentabilidad del sistema teniendo como base el precio de kilogramo de las setas en el mercado actualmente que corresponde a doce mil pesos (\$12.000), por lo tanto:

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Beneficio económico}}{\text{Recursos utilizados}}$$

- Rentabilidad bagazo de caña.

Beneficio económico (BE)= precio kilogramo en el mercado – precio recursos utilizados para producción de kilogramo.

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\$12.000 - 5366.25}{5366.25} * 100$$

Rentabilidad = 123.619% de rentabilidad

- Rentabilidad pulpa de café

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\$12.000 - 8789.85}{8789.85} * 100$$

Rentabilidad = 36.52% de rentabilidad

- Rentabilidad tamo de arroz

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\$12.000 - 34633.74}{34633.74} * 100$$

Rentabilidad = -65.35% de rentabilidad

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para concluir, con base en los resultados de los análisis estadísticos realizados se puede determinar:

- En el análisis correspondiente a analizar el tiempo de incubación se observó que existen diferencias significativas en los pares de las medias, excepto en los tratamientos T2 y T1 que son respectivamente pulpa de café y bagazo de caña, demostrándose que el tiempo de colonización en estos tratamientos es muy aproximado.

El uso de tamo de arroz con respecto al bagazo de caña, presenta una diferencia marcada en términos de tiempo de colonización, demostrándose reducción del tiempo de colonización con el uso del bagazo de caña.

que el tratamiento en el que se colonizo el sustrato en el menor tiempo posible fue bagazo de caña, posteriormente pulpa de café y el que aumenta tiempo de producción en forma considerable es tamo de arroz; este resultado lo podemos argumentar debido a que la pulpa de café aunque la diferencia fue poca comparada con el bagazo de caña, es más difícil de manejar pues el sustrato absorbe en mayor proporción la humedad, situación que ocasiona apelmazamiento del sustrato el cual se debe estar observando permanentemente; además, el tamo de arroz aunque es un residuo fácil de manejar por encontrarse en el tamaño indicado, no tiene buena capacidad de hidratación, por lo que se debe mantener riego constante ya que el riego diario no es suficiente, además es un sustrato que por su estructura es voluminoso, situación que dificulta el contacto del micelio con el sustrato ocasionando demora en el tiempo de colonización.

- Se observó que con respecto al tiempo de fructificación que existen diferencias significativas en los pares de las medias, excepto en los tratamientos T2 y T1

que son respectivamente pulpa de café y bagazo de caña, demostrándose que el tiempo de fructificación en estos tratamientos es muy aproximado.

El uso de tamo de arroz con respecto al bagazo de caña, presenta una diferencia marcada en términos de tiempo, demostrándose reducción del tiempo de colonización con el uso del bagazo de caña.

En los días de fructificación continuó el mismo comportamiento que se esperaba después de observar los resultados obtenidos en el tiempo de incubación; aunque en esta fase se observó que no existe diferencia significativa con respecto al tiempo de fructificación entre el bagazo de caña y la pulpa de café, demorándose unos días más el tamo de arroz. Aunque en los días de fructificación no se observó diferencia significativa entre el bagazo de caña y la pulpa de café, la cantidad en gramos producidos por tratamiento refleja un resultado más óptimo con el bagazo de caña, encontrándose una diferencia considerable entre los tres tratamientos que escritos en su orden de producción se encuentran. Bagazo de caña, pulpa de café y el tamo de arroz el cual demostró cantidad mínima de gramos producidos por el tratamiento.

- De la cantidad en gramos producidas por bolsa de sustrato se concluyó con la prueba de Rangos Múltiples de Duncan que existen diferencias significativas con los tres tratamientos; demostrándose mayor cantidad de gramos producidos en el tratamiento número 1, es decir bagazo de caña, en su orden respectivo le continúan la pulpa de café y el tamo de arroz demuestra poca producción
- Con relación a la cantidad de setas producidas por tratamiento, se concluye que existen diferencias significativas en el tratamiento número 1 en comparación con el tratamiento 2 y 3 de los cuales se produjo menor número de setas pero conservan una diferencia muy mínima, es decir poco

significativa, por lo tanto se concluyó que el bagazo de caña es el sustrato del cual se produjeron mayor cantidad de setas y la pulpa de café y tamo de arroz tuvieron un comportamiento similar pero con menor producción que el bagazo de caña.

Se determinó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos con tamo de arroz y pulpa de café, proporcionando el tamo de arroz mayor cantidad de setas producidas por tratamiento aunque estas fueron en mayor cantidad pero menor tamaño por seta, situación que hace que el tamo de arroz no refleja un comportamiento que viabiliza el cultivo de la seta industrialmente con base en la región donde se trabajo.

- Con respecto al tamaño de las setas, se concluye que existen diferencias significativas en el tratamiento número 3 en comparación con el tratamiento 1 y 2 obtuvo un resultado poco favorable, ya que el tamaño de setas producidas fue pequeño lo cual las hace menos competitivas para comercialización en fresco, además, se comprueba que no existe diferencia significativa en el tratamiento número 1 y 2, los cuales demuestran un promedio en el diámetro de las setas de 7.118 y 7.2686 respectivamente, con una diferencia mínima de 0.1506 cm.

No se encontró diferencia significativa en los tratamientos con bagazo de caña y pulpa de café, resultado contrario se obtuvo con el tamo de arroz del cual se obtuvieron setas muy pequeñas, y por lo mismo poco comerciales, lo cual obligaría a procesarlas en encurtidos, antipastos y/u otro tipo de proceso.

- Como es evidente, la diferencia en la eficiencia biológica es marcada en los tratamientos, demostrándose mayor porcentaje de eficiencia biológica con el tamo de arroz con producción de la primera cosecha; el tamo de arroz tuvo un comportamiento promedio en comparación con los tratamientos y el bagazo de

caña demostró una eficiencia biológica muy baja, lo cual hace que este sustrato aunque se obtiene producción, la misma no es idónea comparada con los otros sustratos utilizados.

Para determinar la eficiencia biológica se realizó la relación de gramos producidos sobre cantidad de sustrato, determinando una eficiencia biológica de 12.34% en el bagazo de caña, 7.24% en la pulpa de café y 2.13% en la tamo de arroz, comportamiento que estuvo por debajo de lo que reporta la literatura en donde se encuentra que el porcentaje en eficiencia biológica varía de acuerdo a los sustratos utilizados por su porcentaje de lignina lo cual a mayor porcentaje de lignina menor capacidad de degradación por ende el comportamiento que se obtuvo del bagazo de caña, pulpa de café y tamo de arroz estuvo acorde a la cantidad de lignina que constituye cada sustrato y al porcentaje de nitrógeno de los mismos, la literatura formula resultados en eficiencia biológica del 50% en tusas de maíz y 15.7% en bagazo de caña, los anteriores demuestran una diferencia considerable debido a las diferencias en la composición, además se debe tener en cuenta que la temperatura y las condiciones en las que se fructifica la seta debe ser inferior a 20°C, caso que no se presentó debido al verano al cual fue sometida la ciudad de Bucaramanga en los meses de noviembre y diciembre donde se observó temperaturas que oscilaron entre los 28°C y los 31°C.

- Para el índice de productividad se realizó la relación de 1000 gramos de setas producidas por cada sustrato por costos de producción para producir los 1000 gramos de setas, demostrándose que aunque no existan diferencias significativas en los días de fructificación entre el sustrato con bagazo de caña y pulpa de café, la diferencia en el índice de productividad es considerable en cada uno de los tratamientos, demostrándose mayor productividad en el tratamiento con bagazo de caña.

Como se puede observar, aunque el análisis estadístico de los días de fructificación, proporcionó como resultado que no existe diferencia significativa entre el tratamiento 1 y el tratamiento 2, el índice de productividad del tratamiento 1 es superior significativamente comparada con el tratamiento 2; por lo tanto se concluye que el sustrato que proporciona mayor índice de productividad es el bagazo de caña.

Además de lo anterior, se realizó un estimativo de rentabilidad teniendo en cuenta el precio actual en el mercado de la seta por kilogramo, donde se demuestra diferencia significativa del bagazo de caña con los otros 2 sustratos obteniendo una rentabilidad de 123.619 % con el bagazo de caña, la pulpa de café con un 36.52% y un comportamiento negativo con el tamo de arroz de -65.35% concluyendo que el tamo de arroz presentaría pérdidas financieras en el cultivo de la seta, lo que lo convierte en un sustrato poco factible de trabajar solo para la producción de la seta, no se conoce los resultados del mismo en caso de usarlo en mezcla con otro tipo de residuos.

Estudios anteriores demuestran que a mayor cantidad de carbono presente en el sustrato más rápida es la colonización del micelio y el hongo se adapta con mayor facilidad para la degradación del sustrato, la proporción de carbono y nitrógeno influye de manera positiva en la producción de la seta⁴⁰; analizándose la relación carbono nitrógeno que reporta la bibliografía se encuentra una relación de 167 en bagazo de caña, 31 en pulpa de café y 71 en tamo de arroz, se encuentra que coincide el resultado favorable de la eficiencia biológica del bagazo de caña con la relación de carbono nitrógeno del mismo; pero con base en esto se esperaría que el tamo de arroz tuviese mayor eficiencia biológica que con la pulpa de café, el bajo rendimiento del tamo de arroz puede ser debido al poco contacto con el que cuenta el micelio con el sustrato debido a que el tamo de arroz es un residuo voluminoso que dificulta el contacto entre micelio y sustrato, disminuyendo la

⁴⁰ LÓPEZ C, et all. 2006

capacidad de colonización, ampliando el tiempo de incubación, fructificación y teniendo como resultado menor porcentaje de eficiencia biológica.

Además de lo anterior se debe tener en cuenta que la literatura reporta un porcentaje de eficiencia biológica superior a la obtenido pero en temperaturas inferiores a 20°C, situación que afecto en la investigación, debido al verano del cual se reportaron temperaturas superiores a 28°C, teniendo consecuencias en el óptimo desarrollo de la seta, demorándose más tiempo en producirse además de tener menor porcentaje de eficiencia biológica.

Teniendo en cuenta todas las variables que pudieron afectar la eficiencia biológica y el índice de productividad de la seta, se obtuvo como resultado que el sustrato óptimo para la producción de la seta en el municipio de Bucaramanga es el bagazo de caña posteriormente la pulpa de café y no se recomienda el tamo de arroz para el cultivo de la seta sería interesante investigar el uso del mismo en mezclas con otros sustratos.

4. CONCLUSIONES

- Al haber nacido nuestro proyecto con la necesidad de disminuir el impacto ambiental justificado como una alternativa en la utilización de los residuos sólidos agrícolas convirtiéndolos en reutilizables en la producción de setas comestibles, podemos sustentar bajo los criterios estadísticos que es viable la producción de *Pleurotus ostreatus* con el uso del residuo del bagazo de caña en primera instancia y la pulpa de café como segunda opción, con base en los resultados se concluye que el tamo de arroz no se encuentra como una alternativa viable para utilizar como sustrato único para la producción de la seta.
- Los resultados obtenidos concuerdan con lo esperado si se tuviese en cuenta únicamente el porcentaje de lignina, ya que al aumentar el porcentaje de lignina disminuye la capacidad de degradación del mismo, los resultados siguieron el patrón ya que el sustrato con mayor porcentaje de lignina es el tamo de arroz y fue del que se obtuvo menor rendimiento.
- En la fructificación el tamo de arroz demostró que económicamente no es viable debido a que se aumentarían los costos de producción por la cantidad de días que se invierten en el proceso los cuáles aumentan en forma considerable ocasionando costos en mano de obra, servicios, instalaciones y demás costos que conlleven a mantener el cultivo durante más tiempo.
- El rendimiento biológico se esperaba de un 15.7% en el bagazo de caña aunque sin ser así se determinó como el mejor sustrato con un 12.34%, seguidos en su orden de pulpa de café con 7.24% y tamo de arroz con 2.13%, lo cual se evidencia claramente que no nos favoreció la temperatura en los meses de noviembre y diciembre.

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es evidente que el tratamiento con el que se obtuvo mayor índice de productividad fue bagazo de caña, en el cual se obtuvo la mayor eficiencia biológica en el menor tiempo posible, en su orden pulpa de café y tamo de arroz.
- El tamo de arroz, presenta un comportamiento inverso a la pulpa de café con respecto a la capacidad de retención de agua, el mismo tiene baja capacidad de retención de agua lo que ocasiona que el sustrato se encuentre con una hidratación menor que la necesaria para el hongo, por lo tanto se hace necesario realizar riego con mayor frecuencia, es decir 3 o 4 veces al día para mantener la hidratación del sustrato.
- Para el proyecto, se adecuo el pH de los sustratos con Carbonato de Calcio, este proceso es favorable ya que minimiza los días en el periodo de incubación y fructificación; pero de no adecuarse el pH de los sustratos se ha comprobado por un estudio realizado anteriormente que en el proceso de degradación el hongo ajusta el pH hasta obtener un rango medianamente neutro: entre 6 y 7; por lo tanto se comprobó que al adecuar el pH del sustrato se evita estrés al hongo teniendo el sustrato en las condiciones propicias para su desarrollo.
- Teniendo en cuenta que podemos contar con el residuo que mejores resultados nos arrojó este proyecto de investigación, vemos la viabilidad de convertirlo en una empresa social, económica y ambientalmente sostenible con justificaciones y criterios sólidos.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para la producción industrial de la seta *Pleurotus ostreatus* utilizar como sustrato el bagazo de caña, la cual demostró óptimos resultados con un tiempo promedio de producción de 27 días, óptimo rendimiento y buen tamaño de las setas producidas; haciendo que el sustrato sea viable para la producción de la seta y sea factible trabajar con el sustrato en regiones como Piedecuesta o la Hoya del Rio Suarez en Santander y/o zonas de cultivo de caña de azúcar ó panelera, donde este tipo de cultivo puede ser una alternativa económica ya que se ha visto afectado rentablemente en los últimos dos años.
- En segunda instancia se encuentra la pulpa de café, la cual demostró resultados aceptables para la producción de la seta y puede ser un sustrato probable para la producción de la seta, o sería motivo de estudio para otra investigación el uso del sustrato con diferentes mezclas de sustratos lignocelulósicos.
- El éxito del proceso depende del cuidado en cada una de las etapas y de las herramientas utilizadas para el mismo, por tratarse de un proyecto de investigación para esterilizar el sustrato se utilizo el autoclave, para realizar la esterilización de volúmenes mayores se recomienda utilizar canecas en donde se colocaran las bolsas con el sustrato, a la caneca se le coloca una fuente de calor en la parte inferior y se realiza una especie de baño María, este proceso minimiza la calidad en el proceso de esterilización pero se debe aumentar el tiempo de esterilización para garantizar un estado de asepsia en el sustrato óptimo, con este proceso la esterilización debe realizarse en un tiempo mayor a 3 horas por cada esterilizada (con base en la práctica y la bibliografía). Además existen otras formas de esterilización como túneles de vaporización o utilizar una fuente de vapor que se inyecte directamente en el sustrato, procedimientos que son más prácticos pero requieren mayor inversión.

- En la actualidad se utiliza como filtro papel periódico y no interlón como se realizó para el proceso, el periódico minimiza costos de producción pero se debe ser cuidadoso y ubicar las tortas inoculadas en cada fase del proyecto en posición completamente vertical, además de dejarse un espacio (cámara de aire) entre el sustrato y el filtro ya que si el filtro se humedece en los riegos, con el sustrato o alguna causa externa, será fuente de contaminación para otros hongos contaminando posteriormente el sustrato.
- Las bolsas que se utilicen en el proceso deben ser de un calibre superior a 1.5, debido a que con un calibre menor se pueden romper fácilmente quedando expuesta la torta a contaminación por el ambiente. Además del calibre si se desea utilizar las mismas bolsas para esterilizar el sustrato las mismas deben ser de polipropileno que resisten temperaturas superiores a 100°C.
- Para adecuar el laboratorio de siembra, además de la esterilización y limpieza se utilizó una lámpara ultravioleta, la misma sirve como bactericida para las superficies que se encuentren contaminadas pero se debe tener cuidado en la utilización de la misma por que la exposición directa de la radiación tiene efectos cancerígenos, estos efectos se evitan encendiendo la lámpara sin encontrarnos dentro del cuarto de siembra, además que se debe dejar entre 30 minutos a una hora después de apagarse la lámpara para evitar la radiación que queda en el cuarto.
- El tamo de arroz es un sustrato del cual se obtuvo bajo rendimiento, pero la utilización del mismo es idónea para utilizar en mezclas con otros sustratos para evitar apelmazamientos como la pulpa de café.
- Se debe controlar cuidadosamente la cantidad de agua que se agregue a la pulpa de café ya que es un sustrato que tiene gran capacidad de retención de agua, y como consecuencia de esta característica se puede ocasionar una

compactación en la cual se genera un espacio de anaerobiosis que ocasiona contaminación en el sustrato.

- Para aumentar la productividad y entregar al hongo un sustrato que se encuentre con un proceso de degradación adelantado se recomienda compostar el sustrato, proceso que aumenta el tiempo de producción y los costos que esto conlleva; pero, aumenta la eficiencia biológica de la seta.

BIBLIOGRAFÍA

AHUMADA, I.M. y RODRÍGUEZ. Uso del SiO_2 obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. rev. acad. Colombia cienc.: volumen xxx número 117-diciembre de 2006. Universidad del Cauca. Colombia. Web: <http://www.accefyn.org.co/PubliAcad/Periodicas/Volumen30/117/581%20a%20594.pdf>

ARÍSTEGUI, B. El reino de los hongos. Rev Iberoam Micol, 2002.

ARZUAGA, J. et .all. Diseño y construcción de un biorreactor para la fermentación en estado sólido de residuos sólidos orgánicos y transformación en biocompost. Bucaramanga, 1999. Tesis de grado (Biólogo e Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander.

AVILÉS, M. Hongos Comestibles, un manjar para provecho comercial. Servicio de Información Agropecuaria y Ganadería del Ecuador. Proyecto SICA Banco Mundial. Disponible en Internet: URL:<Web: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/Ing%20Rizzo/agricultura/hongos_comestibles.htm>

BECERRA L., Aixa. et. all. Tecnologías apropiadas para el desarrollo sostenible. Estado de arte en los países del Convenio Andrés Bello. Valle del Cauca: Universidad el Valle del Cauca, 1995.

BONILLA. Producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. CORPOICA, CIMPA, Fondo Nacional de fomento Hortifrutícola, Asociación Hortifrutícola de Colombia. Publicación - Corpoica, cartilla ilustrada. Bucaramanga, 2003

BRESSANI, R. Et al. Pulpa y pergamino de café: I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Coffee pulp and coffee hulls: I. Chemical composition and amino acids contents of the pulp protein. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, 3. Bogotá. COLOMBIA. Turrialba. 22. 3. jul.-sept. 1972. 26-30 abr. 1971. 299-304. Web. <http://www.metabase.net/docs/incap/08979.html>

CADENA, A. Propuesta para la transformación de residuos sólidos orgánicos en abono utilizando microorganismos autóctonos. Bucaramanga, 2001. Tesis de grado (Especialista en Microbiología Ambiental). Universidad Industrial de Santander.

CALVETE G. et al. Biofiltro Para el Control de Olores Emitidos por la Empresa Café Diamante S.A. Bucaramanga, 2003. Tesis de grado. Fundación Universitaria Manuela Beltrán. Programa de Ingeniería de Biorecursos.

CAMACHO S., María. et. all. Selección de sustratos para producir hongos setas (*Pleurotus ostreatus*). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería (Ingeniería en sistemas). Junio 2003.

CARDONA L, Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Crónica forestal y del medio ambiente No. 16, Medellín, 2001.

CASTILLO E. et al. Alevines de Tilapia Roja. Centro Universitario Guantánamo, Centro Desarrollo de la Montaña, Universidad de Granma, Universidad Politécnica de Valencia (España). Revista AquaTIC Nro. 16 Cuba 2002. Web. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/html/art1602/tilapiacafe.htm>

CHAPARRO, L. et al. Emisiones al ambiente en Colombia. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente. IDEAM, 2002. 532-543 p.

CONTRERAS A. y SUÁREZ J. Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario el guayabal de la ciudad San José de Cúcuta. Ingeniería y desarrollo Número 20. Julio – diciembre 2006. [en línea]. Disponible en internet:URL<http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/20/tratamiento_biologica.pdf>

CONTRERAS, H. Seminario de investigación avanzada. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Instituto de Educación a Distancia, 2003.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFÉTEROS. ¿Qué es el café?. Colombia. 2008. [en línea]. Disponible en Internet:<URL:<http://www.cafedecolombia.com/cafcultura/quees2.html>>

GOBERNACIÓN DE SANTANDER. Historia de Santander 2008 - 2011. Web: Bucaramanga - Colombia <http://www.santander.gov.co/asiessantander/>

GONZÁLEZ, A. Biología Molecular de Hongos Basidiomicetos. Madrid: Departamento de Biología Molecular Centro de Investigaciones Biológicas, 1999

GONZALEZ, D. et al. Jugo de caña y follajes arbóreos en la alimentación no convencional del cerdo. Universidad Central de Venezuela. Revista computadorizada de producción porcina Vol. 11 (Nº3) 2004

GONZALEZ, H. Biología de los hongos. Bogotá: Gimnasio Moderno Robinsón Crusoe, 2003.

GRODZÍNSKAYA, A. Cultivo de Hongos Comestibles utilizando desechos agrícolas e industriales. Agronomía Tropical Volumen 52 pág. 427-447. 2002 Yucatán México. Web: http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasCientificas/Agronomia%20Tropical/at5204/arti/grodzinskaya_a.htm

GUARÍN J. y RAMÍREZ A. Estudio de factibilidad técnico financiero de un cultivo de hongo *Pleurotus ostreatus*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2004. 19-28p.

GUILLÉN N. 1996. Producción de biomasa y enzimas ligninolíticas por *Pleurotus ostreatus* en cultivo sumergido. Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR); Departamento de Bacteriología Ambiental. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior Enseñada. (CICESE) Tapachula – Chiapas – México. Revista Iberoamericana – Micología.. Clas. 15-302-306.

ÍÑIGUEZ, G., ROBLES, A., FRANCO, M. Continuous solid substrate fermentation of swine waste recovered solids for pig feed. Bioresource Technology. 1994. 50:139-147

JOB, DANIEL. La utilización de la borra del café como substrato de base para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. (Jacq.:Fr.) Kummer. En: Revista Iberoam Micol. Suiza. 2004. Vol. 21. p. 195-197

LÓPEZ y RODRIGUEZ. et al. Evaluación del crecimiento y producción del *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. Cundinamarca: Universidad Pontificia Bolivariana, 2008

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Centro de Información - Educación Ambiental. Elementos Metodológicos para la introducción de prácticas de Producción más limpia – Alternativas para el aprovechamiento económico de residuales. Documento de Trabajo. Santafé de Bogotá. Junio 1998.

MONROY, O., VINIEGRA, G. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. México: AGT Editor, 1981.

NIETO C., Jimena. Cumbre mundial sobre desarrollo sostenible - información general. Johannesburgo. Agosto 26 a Septiembre 4 de 2002.

OSORIO G. Manual técnico buenas prácticas agrícolas- BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura-BPM- En la Producción de Caña y Panela. Corpoica, CTP Print Ltda. Medellín – Colombia 2007. pág. 53-60 web: <http://www.fao.org.co/manualpanela.pdf>

PUEYO, B. Estudio de la evolución molecular de los genes de hidrofobinas (*vmh11*, *vmh12*, *vmh13*, *fbh1*) en el género *Pleurotus* spp. Departamento de Producción Agraria. Laboratorio de Genética y Mejora Vegetal de la UPN. Navarra – España. 1992.

QUINTERO, R. Análisis de alternativas para la producción industrial de proteína a partir de celulosa. En Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. México: AGT editor, 1990 177-189 p.

RODRÍGUEZ, G. Cultivo de hongos comestibles. Laboratorio de hongos comestibles y medicinales. Cátedra de horticultura. Fruticultura y diversificación. Comahue, 2007. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias Agrarias.

RODRIGUEZ, K. Eficacia del hongo *Pleurotus ostreatus* como biorremediador de suelos contaminados con metales pesados. Puerto Rico, 2005. Tesis de grado (Maestro en Ciencias en Biología) Universidad de Puerto Rico

SÁNCHEZ, G. et al. Muestreo sistemático de selección variable. Estadística española. Vol. 40, Núm. 143, 1998, págs. 5 a 31. Disponible en internet: <http://www.ine.es/revistas/estaespa/143_1.pdf>

VALVERDE, A. Et al. Análisis comparativo de las características físicoquímicas de la cascarilla de arroz. Scientia et Technica Año XIII, No 37, Diciembre de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701. Disponible en Internet: URL: <<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/102114255-260.pdf>>