



**“PRODUCCIÓN DE HONGOS
COMESTIBLES DEL GÉNERO
PLEUROTUS A PARTIR DE LOS
RESIDUOS VEGETALES
PROVENIENTES DE LA PLAZA DE
MERCADO DEL MUNICIPIO DE QUIBDÓ”**

ANNERYS SÁNCHEZ PALACIOS

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2015

“PRODUCCIÓN DE HONGOS COMESTIBLES DEL GÉNERO PLEUROTUS A PARTIR DE LOS RESIDUOS VEGETALES PROVENIENTES DE LA PLAZA DE MERCADO DEL MUNICIPIO DE QUIBDÓ”

ANNERYS SÁNCHEZ PALACIOS

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Ph.D., Ingeniero Químico, Nelson Rodríguez Valencia

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Doctor

Jhon Fredy Betancur

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2015

Gracias Dios Mío Bendito, por permitirme darle vida a JC & JM Salcedo Sánchez, quienes han permitido me desarrolle como madre...

*Annerys Sánchez Palacios
"La Mamá de los Mellos"*

Contenido

Resumen	XIII
Abstract	XV
INTRODUCCIÓN	17
1. JUSTIFICACIÓN	20
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	22
2.1. Síntomas.....	22
2.2. Causas.....	22
2.3. Consecuencias.....	23
2.4. Pronóstico de control.....	23
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	24
4. OBJETIVOS	25
4.1. Objetivo General:	25
4.2. Objetivos Específicos:	25
5. HIPÓTESIS DE TRABAJO	26
6. MARCO TEÓRICO	27
6.1. Marco contextual.....	27
6.2. Marco conceptual.....	30
6.2.1. Características Generales de las Setas	31
6.2.2. Valor nutricional de los Hongos Comestibles	34
6.2.3. Características de las Especies de <i>Pleurotus</i>	37
6.2.4. Morfología de <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacquin ex Frés) Kummer.....	37
6.2.5. <i>Pleurotus pulmonarius</i>	40
6.2.6. <i>Pleurotus sajor – caju</i>	41
6.2.7. Tipo de sustratos evaluados y rendimientos obtenidos	42
6.3. Etapas del Proceso de Producción de Hongos Comestibles	46
6.3.1. Tecnología de Cultivos	47
6.3.2. Residuos orgánicos en las plazas de mercado.	56
7. MATERIALES Y MÉTODOS	62
7.1. Producción de la semilla comercial	67

7.2.	Preparación de las formulaciones	69
7.3.	Adecuación de las formulaciones.....	72
7.4.	Adecuación del área de siembra.....	74
7.5.	Etapa de Incubación	75
7.6.	Etapa de Fructificación y cosecha.....	76
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
8.1.	Resultados de la caracterización cualitativa y cuantitativa de los residuos de la plaza de mercado.....	78
8.2.	Resultados de la caracterización de laboratorio de los residuos de la plaza de mercado.	82
8.3.	Resultados de las formulaciones preparadas.....	87
8.4.	Resultados de las formulaciones al final del proceso de fermentación anaeróbica.	88
8.5.	Resultados del cultivo	88
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
9.1.	CONCLUSIONES:	100
9.2.	RECOMENDACIÓN.....	101
	BIBLIOGRAFÍA	102

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Características Generales de las Setas.....	32
Figura 2. Carpóforos de <i>Pleurotus ostreatus</i>	39
Figura 3. Carpóforos de <i>Pleurotus sajor-caju</i>	42
Figura 4. Pedúnculo de Plátano	50
Ilustración 5. Jerarquía del Manejo de Residuos Sólidos.....	58
Ilustración 6. Diagrama de un Sistema de Manejo de Residuos Sólidos	59
Figura 7. Contenedor de basura en el exterior de la plaza de mercado de Quibdó.....	65
Figura 8. Disposición Final de los Desechos (Río Atrato)	66
Figura 9. Una de las Panorámica del Río Atrato con los Desechos	66
Figura 10. Producción de semilla en botellas planas	67
Figura 11. Producción de semilla cepa-madre.....	68
Figura 12. Producción de semilla comercial	69
Figura 13. Residuo orgánico antes de acondicionar su tamaño de partícula.	70
Figura 14. Mezcla de los sustratos. Formulación 3.....	72
Figura 15. Empaque de las formulaciones en costales.....	73
Figura 16. Fermentación anaerobia de las formulaciones.	73
Figura 17. Proceso de inoculación de las formulaciones.	75
Figura 18. Proceso de incubación de las formulaciones.	76
Figura 19. Principales desechos orgánicos encontrados en el exterior de la plaza de mercado de Quibdó	78
Figura 20. Desechos orgánicos de frutas encontrados en el exterior de la plaza de mercado de Quibdó	79
Figura 21. Desechos del Plátano. Interior de la plaza de mercado	79
Figura 22. Depósito de Desechos Varios. Interior de la plaza de mercado	80
Figura 23. . Hojas de plátano antes y después del proceso de secado.	81

Figura 24. Formulación a base de residuos de plátano y caña de azúcar	87
Figura 25. Crecimiento de <i>P. pulmonarius</i> sobre la formulación 3.....	90
Figura 26. Contaminación de la formulación 4 con <i>Coprinus</i> spp.....	91
Figura 27. Crecimiento de <i>P. ostreatus</i> sobre la formulación 3.	92
Figura 28. Crecimiento de <i>P. sajor caju</i> sobre la formulación 3.....	95

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Contenido nutricional de los hongos " <i>Pleurotus</i> "	33
Tabla 2. Nutritional de las setas (<i>Pleurotus</i>) frescas	36
Tabla 3. Nutritional de las setas (<i>Pleurotus</i>) deshidratados	36
Tabla 4. Composición teórica de los residuos foliares (hojas y tallos) de plátano	46
Tabla 5. Diagnóstico de los problemas más frecuentes encontrados en la etapa de incubación del cultivo de hongos comestibles y medicinales	53
Tabla 6. Caracterización Cuantitativa de los residuos orgánicos de la plaza de mercado	80
Tabla 7. Resultados de la determinación de humedad	82
Tabla 8. Resultados de la determinación de pH	83
Tabla 9. Resultados de la determinación de % C	83
Tabla 10. Resultados de la determinación de % N	84
Tabla 11. Resultados de la determinación de C/N	85
Tabla 12. Composición de las formulaciones	87
Tabla 13. Materiales utilizados para preparar 75 kg de cada una de las formulaciones..	87
Tabla 14. Resultados de la caracterización de las formulaciones después de la fermentación.	88
Tabla 15. Resultados del cultivo de <i>Pleurotus pulmonarius</i>	89
Tabla 16. Resultados del cultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i>	92
Tabla 17. Resultados del cultivo de <i>Pleurotus sajor caju</i>	94

Gráficos

Gráfico 1. Resultados de los Rendimientos Medios	96
Gráfico 2. Eficiencias Biológicas Medias	97
Gráfico 3. Precocidad.....	98

Resumen

Se caracterizaron los residuos orgánicos provenientes de la plaza de mercado de Quibdó, con el fin de determinar su potencial para el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* y de esta forma aprovechar la biomasa, evitando que se convierta en una fuente de contaminación de los recursos naturales, sobre todo del río Atrato. Los principales desechos encontrados en la plaza de mercado, fueron los residuos de plátano (hojas y vástago) (46,5%), seguidos de los residuos de caña de azúcar (37,7%) y residuos de frutas (15,8%).

La Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) generada por los residuos orgánicos de la plaza de mercado que no son aprovechados y que se disponen en el Río Atrato es de 29030 g O₂ por día, equivalente a la contaminación que generarían, en ese mismo día, en excretas y orina, una población de 290 personas.

Los mejores rendimientos medios, en el presente estudio, se alcanzaron con la cepa de *Pleurotus sajor caju*, cultivada en la formulación 3 (mezclas de residuos de plátano y caña), con un valor del 87,83%, seguida de la cepa de *Pleurotus pulmonarius*, cultivada sobre esta misma formulación, con un valor de 74,80%. De igual manera, el cultivo de estas mismas cepas sobre la formulación 1 (residuos de caña) permitieron alcanzar valores del 66,56% y del 53,94%, para *P. sajor caju* y *P. pulmonarius*, respectivamente. En estos 4 tratamientos se alcanzaron valores de rendimiento medio superiores al 50%, que permitirían la explotación comercial de estos cultivos

Los resultados permitieron determinar que la formulación 3 obtuvo los mejores rendimientos y la mayor precocidad de las cepas, siendo *P. sajor caju* con 22 días la más precoz, seguida de *P. pulmonarius* con 24 días y de *P. ostreatus* con 28 días.

Palabras clave: Pleurotus, Hongos Comestibles, Biosistemas Integrados, Residuos Orgánicos, Contaminación Ambiental.

Abstract

Organic waste from the marketplace of Quibdó are characterized to determine their potential for growing edible fungi of the genus *Pleurotus* and thus exploit biomass, preventing it from becoming a source of contamination of resources natural, especially the Atrato river. The main debris found in the marketplace, were banana waste (leaves and stem) (46.5%), followed by sugar cane waste (37.7%) and fruit waste (15.8%).

The Chemical Oxygen Demand (COD) generated by organic waste from the marketplace that are untapped and are arranged in the Atrato River is 29030 g / day, equivalent to the pollution generated in the same day, excreta and urine, a population of 290 people.

The best yields means in the present study were achieved with the strain of *Pleurotus sajor caju* grown in formulation 3 (mixtures of banana and sugar cane waste), with a value of 87.83%, followed by the strain of *Pleurotus pulmonarius*, grown on the same formulation, with a value of 74.80%. Similarly, growing strains on the same formulation 1 (cane waste) allowed reach values of 66.56% and 53.94%, and *P. P. pulmonarius sajor caju*, respectively. In these 4 treatments values higher average yield reached 50%, which would allow commercial exploitation of these crops.

The results have revealed that formulation 3 allowed the best performance and most precocious strains, *P. sajor caju* being 22 days earlier, followed by *P. pulmonarius* with 24 days and 28 days *P. ostreatus*.

Keywords: *Pleurotus*, Edible Fungus, Integrated Biosystems, Organic Waste, Environmental Pollution.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en el manejo de los biosistemas integrados permite realizar una producción en forma orgánica sostenible, en donde no hay desechos y por lo tanto no se contamina, además busca integrar los recursos naturales locales.

La industria de los hongos cultivados a nivel mundial está dominada por la producción y consumo mayoritario del Champiñón, con China abarcando el 50% de la producción total mundial, seguido por Estados Unidos (13%), Japón (8%), Francia (6%) y Holanda (4%)¹.

En nuestro continente, la producción de Champiñón se inició en Estados Unidos hacia fines del siglo XIX. En Latinoamérica, comenzó en México en 1933, avance que fue seguido por desarrollos posteriores en Argentina (1941), Colombia (1950), Brasil (1951), Chile (1959), Guatemala (1960), Perú (1960), Ecuador (1967), Venezuela (1968), Costa Rica (1970) y Honduras (2002)².

Durante décadas, el consumo de hongos en Latinoamérica estuvo limitado pero, hoy encuentran su espacio en el mercado otras especies de setas y se están realizando importantes esfuerzos por introducir nuevas especies, aún poco difundidas y de consumo minoritario pero interesante potencial.

Es por eso que, el tema del manejo de residuos sólidos, es de suma importancia enmarcado en el desarrollo de esta línea biosistemas integrados, posibilitando su estudio

¹ ACP Agroconsultora Plus ofrece servicios de educación a distancia y comunicación institucional en Alimentos, Agronegocios y Emprendimientos. Cursos a Distancia » Introducción al cultivo de hongos comestibles. <http://agroconsultoraplus.com/cursohongos/>.

² ibíd.

e investigación con el fin de obtener productos de valor agregado y disminuir el impacto ambiental sobre los recursos naturales.

Los hongos comestibles, juegan un papel muy importante en la naturaleza ya que reducen la acumulación de materia orgánica que se origina como residuos del cultivo de los diferentes productos agrícolas, evitando que se conviertan en fuentes de contaminación ambiental y protegiendo de esta manera los recursos naturales (agua, suelo y aire).

Estos hongos son un alimento de excelente sabor y de alta calidad nutritiva (su contenido de proteína oscila entre 25 y 35% de la materia seca), (Rodríguez 1992-1993) por lo cual, se consideran ideales para ser utilizados en programas de seguridad alimentaria. Además, tienen propiedades biológicas como un alto contenido de fibra y bajo contenido de grasa, que los hace adecuados para dietas alimenticias (Rajarithnam y Bono 1991).

El consumo de hongos comestibles ha crecido vertiginosamente en las últimas décadas. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción mundial de hongos comestibles en el 2000 alcanzó los 2,6 millones de toneladas, mientras que en el 2007 ésta llegó a 3,4 millones, es decir, esta aumento en un 30,8% (FAO, 2008). En Estados Unidos en el periodo 2006-2007 las ventas de hongos de especialidad alcanzaron valores de 46 millones de dólares, en el periodo 2007-2008 estos llegaron a los 50 millones, experimentando un crecimiento de un 8,7%. En cuanto a la producción ésta alcanzó las 6.636 toneladas para el periodo 2006-2007, aumentando a 7.567 en 2007-2008, experimentando un crecimiento del 14% (USDA, 2008)³.

El sustrato residual del cultivo de los hongos puede ser utilizado en la alimentación de rumiantes, ya que termina enriquecido con la proteína del hongo y delignificado por la acción bioquímica de éste (Rajarithnam y Bono 1991). También puede utilizarse como sustrato para el cultivo de la lombriz roja, obteniéndose de esta manera, del cultivo

³ http://www.ciencias.uach.cl/proyectos/hongos/act_detalle.php?codigo=7543

integral de los hongos ostra sobre los residuos agrícolas un alimento para consumo humano (el hongo), alimento para consumo animal (la lombriz) y abono orgánico (el lombricompost) que se incorpora nuevamente al suelo permitiendo disminuir la aplicación de abonos químicos, potencializando así los rendimientos en la producción agrícola (Rodríguez y Zuluaga 1994) (Rodríguez 1992-1993).

Los hongos presentan una alta eficiencia de conversión en proteína por unidad de área y por unidad de tiempo, muy superior a las fuentes de proteína animal (Rajarathnam y Bano 1991). Se conocen 39 especies de hongos del género *Pleurotus*, lo cual lo caracteriza como un hongo muy versátil para ser cultivado sobre diferentes residuos agrícolas y en diferentes pisos térmicos (Rodríguez 1998) (Rodríguez y Zuluaga 1994) (Rodríguez 1991). Su ciclo de cultivo es de 75 días, tiempo en el cual se recolectan 4 cosechas, obteniéndose la primera al mes de haberse hecho la siembra.

En ésta investigación se realiza un estudio de las cepas de *Pleurotus pulmonarius*, *P. sajor-caju*, *P. ostreatus* y *P. florida* aplicada a los desechos orgánicos de la caña de azúcar y vástago de plátano, obtenidos en la plaza de mercado en el municipio de Quibdó, el cual busca transformar estos residuos en productos de excelente calidad y alto valor nutricional, reduciendo la contaminación ambiental y evitando la degradación de los sectores que se encuentran aledaños a la plaza de mercado, a su vez se minimiza el impacto de afectación de las fuentes hídricas que circundan dicho lugar.

1. JUSTIFICACIÓN

El incremento de desechos sólidos en la plaza de mercado en el municipio de Quibdó, ha generado una problemática medioambiental que afecta a consumidores, comerciantes y un gran número de personas que frecuentan este lugar. Por tal motivo, la caracterización de sustratos generados a partir de desechos sólidos orgánicos vegetales procedentes de la plaza de mercado en el municipio de Quibdó, permite la producción y comercialización de hongos comestibles, convirtiéndose en una alternativa económica, que mejora la calidad de vida de las personas que derivan su sustento de esta actividad.

El desarrollo e importancia económica de la agroindustria de los hongos comestibles en el Choco, se debe a que genera gran cantidad de empleos ya que ésta requiere una considerable cantidad de mano de obra para su cultivo.

Otro aspecto importante se debe a que los hongos cultivados, se producen a partir de todo tipo de materiales secundarios generados por basuras como restos de cascara de plátano, hojas, entre otros, materia prima gratuita que disminuye significativamente los costos de producción. Así, la producción de hongos comestibles, representa una auténtica oportunidad de inversión y generación de empleos por tratarse de producciones intensivas donde se requiere de la mano de obra como un recurso clave. Por tal razón la producción de hongos cultivados se convierte en actividades muy provechosas para ciudades como Quibdó.

Partiendo de lo nutritivo los hongos comestibles, son considerados alimentos funcionales, porque no sólo pueden convertir la gran biomasa de desechos lignocelulósicos en alimentos saludables sino que también pueden producir derivados conocidos como mico-medicinas/nutricéuticos con numerosos beneficios para la salud. Es decir que los hongos, con su gran variedad de especies, no solo permiten complementar la nutrición sino también aliviar el sufrimiento causado por ciertas enfermedades. Así, la producción de hongos y los productos derivados de éstos, son los dos pilares de la industria moderna de hongos y representan una auténtica oportunidad de inversión y generación de

empleos por tratarse de producciones intensivas donde se requiere de la mano de obra como un recurso clave⁴.

⁴ <http://www.agroconsultoraplus.com/noticiashongos.htm>

2.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. Síntomas

- La plaza de mercado en el municipio de Quibdó es un foco de contaminación ambiental para la ciudad, lo que genera malos olores y contaminación visual producto de las actividades realizadas en éste lugar.
- No existe control en el manejo de los residuos sólidos vegetales por parte de las autoridades ambientales ya que estos se arrojan al río o en su efecto se convierten en montañas de basura.
- No se utilizan buenas prácticas de manipulación de los alimentos que se comercializan debido al desconocimiento de las normas de seguridad alimentaria de poscosecha.
- Los comerciantes no toman en cuenta los horarios de recolección de las basuras, provocando acumulación de las mismas.
- Existe el desconocimiento en el manejo del reciclaje ocasionando la mezcla de residuos orgánicos con inorgánicos.

2.2. Causas

- Las pocas aplicaciones políticas de reciclaje por parte de la empresa recolectora de basura desde una visión de generación de ingresos.
- La nula formación en el manejo de los residuos sólidos, por parte de las personas que derivan su sustento de ésta actividad comercial.
- El desconocimiento de las ventajas de la aplicación de normas de salubridad pública para promover el desarrollo sostenible.
- La falta de capacitaciones a los vendedores de la plaza de mercado, en el manejo los residuos sólidos.
- La poca disciplina de los vendedores en el cumplimiento de los días y horarios de recolección.
- Desconocimiento de las normas de salud pública.

2.3. Consecuencias

- Incremento de enfermedades respiratorias, dermatológicas, proliferación de mosquitos y zancudos, que se derivan de los malos olores y manejo inadecuado de estos residuos.
- Contaminación de las fuentes hídricas aledañas a la plaza de mercado.
- Pérdidas en el manejo de los alimentos que aquí se comercializan, debido a la disminución de la vida útil por las condiciones higiénicas sanitarias que presenta el lugar de acopio.

2.4. Pronóstico de control

- Establecer técnicas de aprovechamiento de los residuos sólidos, transformándolos en fuente de producción de alimentos nutritivos.
- Identificar las características organolépticas y fisicoquímicas, de los hongos comestibles (*Pleurotus* spp) que se obtiene del aprovechamiento de estos residuos.
- Caracterizar los desechos orgánicos vegetales procedentes de la plaza de mercado de Quibdó, útiles en el cultivo de hongos comestibles.
- Evaluar el impacto de la contaminación, ambiental en la plaza de mercado en la ciudad de Quibdó, debido a la abundancia de basuras que se encuentra en el entorno.

La población afectada en el manejo de los residuos sólidos son comerciantes, consumidores, vendedores ambulantes que derivan su sustento del desarrollo de estas actividades, los que ocasionan una contaminación masiva del entorno visual, generando lixiviados motivo de la putrefacción de las basuras. El 90% de la población afectada, son amas de casa que visitan constantemente estas zonas aledañas, así como también instituciones de carácter gubernamental, como la fiscalía entre otras que circundan la plaza de mercado de Quibdó, generando un sinnúmero de inconvenientes que atenta contra la salubridad de las personas que frecuentan el lugar.

3.PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Qué especie de hongo comestible del género *Pleurotus* permite obtener los mejores rendimientos de proceso en un biosistema integrado de aprovechamiento de Los residuos vegetales provenientes de la plaza de mercado del municipio de Quibdó que pueda seleccionarse para el cultivo de este tipo de hongo?

4.OBJETIVOS

4.1. Objetivo General:

Producir hongos comestibles del género *pleurotus* a partir de los residuos vegetales provenientes de la plaza de mercado del municipio de Quibdó.

4.2. Objetivos Específicos:

- a. Caracterizar en variedad y abundancia los desechos orgánicos vegetales, procedentes de la plaza de mercado de Quibdó y seleccionar, de acuerdo con su composición química, cuales se pueden utilizar en el cultivo de hongos comestibles.
- b. Evaluar el impacto de la contaminación ambiental de la plaza de mercado en la ciudad de Quibdó, debido a la abundancia de basuras que se encuentran en el entorno.
- c. Evaluar los rendimientos medios, la eficiencia biológica media y la precocidad de 3 especies de *Pleurotus* (*P. pulmonarius*, *P. sajor caju* y *P. ostreatus*) sobre 3 formulaciones de sustrato elaborado a base de los residuos vegetales seleccionados.
- d. Determinar la especie de hongo y la formulación de sustrato que permiten obtener los mejores resultados dentro de un biosistema integrado de aprovechamiento de los residuos vegetales de la plaza de mercado de Quibdó.

5.HIPÓTESIS DE TRABAJO

“Un biosistema integrado que involucre el cultivo del hongo *Pleurotus sajor caju*, sobre mezclas de sustratos es el que permite obtener los mejores rendimientos de proceso para el aprovechamiento de los residuos de la plaza de mercado de Quibdó”

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Marco contextual

El cultivo empírico de los hongos comestibles pertenecientes al género *Pleurotus* tuvo sus inicios en Alemania, alrededor de 1917, empleando micelio silvestre para la inoculación de troncos. Sin embargo, el primer cultivo a gran escala empleando troncos como substrato sólo fue posible hasta 1969 en Hungría. A partir de entonces, el cultivo de *Pleurotus* a pequeña y gran escala se ha desarrollado rápidamente en diversas partes del mundo, empleando los subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales disponibles regionalmente⁵.

El cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* spp., comúnmente conocidos como hongos ostra u orellanas, fue realizado por primera vez en el mundo a principios del siglo pasado y se ha incrementado en las últimas cinco décadas, alcanzando el 14,2% de la producción total de hongos comestibles en el mundo en el año de 1997, siendo China el principal productor con el 86,8% de la producción mundial y con cerca de 800.000 toneladas producidas al año (Chang 1997).

En Latinoamérica, México es considerado pionero en el cultivo de hongos comestibles, este proceso inició en el año de 1933, en un rancho cercano a Texcoco, Estado de México, propiedad del Sr. José Leben Zdravie (Martínez-Carrera et al., 1991b; Martínez-Carrera, 2000). Esto convirtió al país en el tercer lugar de América, donde se emprendía dicho cultivo, sólo antecedido por E.U.A. (1880) y Canadá (1912). Actualmente, la producción comercial de hongos comestibles en México ofrece notables ventajas sociales, económicas y ecológicas. Se estima que la producción comercial en fresco es de aproximadamente 47,468 toneladas anuales. La importancia ecológica de esta actividad económica radica en la utilización y reciclaje de más de 474,000 toneladas anuales de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales (Martínez-Carrera, 2002; Martínez-Carrera et al., 2006). El cultivo de hongos en México ha evolucionado, a

⁵ <http://www.hongoscomestibles-latinoamerica.com/Mexico/UAEM/P.pdf>

diferencia de otros países donde se ha desarrollado como un negocio netamente privado, bajo dos vertientes principales: el desarrollo industrial privado y la producción rural por el sector social. Esta última es la más reciente, ya que se generó a partir de 1989 mediante el desarrollo del modelo sostenible de producción rural de hongos comestibles (Martínez-Carrera et al., 1998). Sin embargo, en este contexto, es importante señalar que las setas, como se les conoce comercialmente a los hongos del género *Pleurotus*, sólo representan cerca del 4.62% de la producción comercial de hongos comestibles en México. Su cultivo es de hecho bastante reciente, ya que empezó en 1974 en Cuajimalpa, D. F., dentro de las instalaciones de "Hongos de México, S. A. de C. V." (Martínez-Carrera et al., 1991b).

En 1990 la producción anual estimada de setas en México fue de 356 t. (Martínez-Carrera et al., 1992). A partir de este año, la producción comercial de setas se incrementó notablemente alcanzando alrededor de 1,825 t en 1997, lo que representó un incremento del 413% durante este período (Sobal et al., 1997). Esta tendencia se mantuvo alcanzando una producción nacional estimada de 2,190 ton en el 2005 (Martínez-Carrera et al., 2006)⁶.

El cultivo de *P. ostreatus* fue iniciado en Colombia hacia 1990 en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad de Antioquia por el microbiólogo Fabio Pineda, con la asesoría del micólogo Gastón Guzmán (Cardona 2001). Debido a la gran cantidad de residuos lignocelulósicos que se generan en el cultivo e industrialización del café, diversos estudios acerca del cultivo de hongos del género *Pleurotus* spp., se han realizado en la zona cafetera de Colombia desde la década de los noventa (Rodríguez 2005).

En el Pacífico colombiano en especial Buenaventura, el cultivo de hongos comestibles aparece como una alternativa que contribuye con el mejoramiento de la dieta y la seguridad alimentaria en comunidades rurales.

⁶ <http://www.hongoscomestibles-latinoamerica.com/Mexico/UAEM/P.pdf>

Su presencia cobra especial importancia, por su doble condición de alternativa alimentaria y ambiental, al mismo tiempo.

La producción tecnificada del hongo comestible, (conocido con el nombre científico de *Pleurotus ostreatus*) En la cual se utilizan materiales como la estopa de coco y el aserrín derivado de la actividad maderera en la región, ayuda a disminuir el impacto ambiental que estos materiales causan al sedimentarse en ríos y en esteros de Buenaventura. Es de resaltar, que aunque es una metodología poco aplicada en ésta región, se puede evidenciar las ventajas que tiene la caracterización de los desechos orgánicos vegetales para el cultivo de hongos comestibles.

Es por esto que la generación de sustratos a partir de desechos sólidos vegetales en el departamento del Chocó es un tema novedoso, que se ha trabajado muy poco, en la actualidad.

El cultivo de hongos comestibles, tiene amplias posibilidades para el departamento del Chocó debido a sus condiciones climatológicas; para lo cual, se deben implementar tecnologías sencillas de aislamiento y cultivo, buscar cepas regionales de los géneros más codiciados por su aplicación y uso. De esta manera, los cultivos se adaptan mejor a las condiciones ambientales de la zona y los costos de producción se hacen más competitivos.

Las especies de *Pleurotus* son las que presentan mayor versatilidad dada la gran variedad existente de carácter comestible, lo que permite el aprovechamiento en diferentes pisos térmicos y su adaptación a la economía regional en cuanto se pueden aprovechar sustratos de diferentes medios a menores costos. Las setas pueden ser cultivadas de manera sencilla y comercializada en fresco o procesados (deshidratados, en salmuera, en aceite, extractos en sal, congelados, fermentados) y pueden constituirse en una actividad económica complementaria para diferentes comunidades Chocoanas.

Estas poseen un alto valor nutritivo por la calidad de su proteína, presencia de vitaminas y otros macro y micro elementos, lo que los constituyen en alimentos saludables.

En la ciudad de Quibdó, se producen aproximadamente 547,5 toneladas anuales de residuos orgánicos de los cuales 195 toneladas proceden de la plaza de mercado; además de otros desechos producto de actividades agroindustriales como hoja de plátano y caperuza de maíz. Un mal manejo de estos desechos significa contaminación en ríos e insalubridad en los sitios de producción y acopio, el cual se puede remediar mediante el cultivo de hongos, Torres y otros (2002). En la ciudad de Quibdó, en el año de 1999, se empezó un proceso de evaluación de sustratos orgánicos para la producción de *Pleurotus sajor caju* y *Ganoderma lucidum* con el objetivo de aprovechar estos residuos y a la vez producir una alternativa de proteína diferente a la tradicional, conservando la energía que de otra manera se perdería, Ríos y otros (2001).

Es por esto que los países tropicales han iniciado con la identificación de sustratos y cultivos de desechos agroindustriales de un sinnúmero de hongos de valor comestible y medicinal Guzmán (2000b), Pauli (1999), Castillejos y otros (1996), Sánchez y otros (1993), Guzmán y otros (1993), Guzmán-Dávalos y otros (1987); pero aun el mercado potencial es grande pues la producción mundial no alcanza a abastecer la demanda Chang (1999), Martínez (2000, 1984), Chang (1980). En Colombia, se ha incursionado en cultivos tradicionalmente de hongos comestibles como *Agaricus bisporus* (champiñón), el cual abastece el mercado interno y posee un excedente de exportación. En la década de los 90, el cultivo de *Pleurotus* pasó de investigación básica a ensayos de industrialización del cultivo en desechos agroindustriales como alternativa de uso de subproductos orgánicos, Cardona (2001), Chang (1998, 1980). Esto es posible, gracias a que los hongos secretan una gran cantidad y variedad de enzimas que tienen la capacidad de degradar estos compuestos, convirtiendo así una materia de insignificante valor económico en alimento y medicina para humanos.

6.2. Marco conceptual

Para el desarrollo de ésta investigación se trabajó con 3 cepas de *Pleurotus* (*P. ostreatus*, *P. pulmonarius*, y *P. sajor caju*) y a su vez se utilizó el residuo para la producción de abono orgánico.

Los hongos son plantas talofitas sin clorofila y, por lo tanto, heterótrofas. Viven parásitos, saprofitos o simbióticos. El tallo suele estar formado por filamentos llamados hifas. El aparato vegetativo se denomina micelio. Se reproduce, casi siempre, por esporas, que pueden ser exógenas o endógenas. Pero el aparato esporífero puede ser de cuatro tipos:

- **Conidios** o esporas exógenas en forma de rosario producidas por gemación en el extremo de una hifa (Penicillium).
- **Esporangios** o masas de esporas endógenas que se forman también en el extremo de una hifa (Mucor).
- **Basidios** son células especiales que originan por gemación esporas exógenas - basidiosporas- (en número de cuatro) (Champiñón).
- **Ascas** o sea células especiales productoras de esporas endógenas -ascosporas- (en número de ocho) (Cornezuelo)⁷.

La producción de hongos, surge como una excelente alternativa para reducir y aprovechar los residuos orgánicos o subproductos de procesos, contribuyendo a la descontaminación del medio ambiente, la nutrición biológica y sostenible de suelo, además de diversificar e incrementar los ingresos del productor. Igualmente las setas son una opción para la obtención de proteína de alta digestibilidad que tiene un impacto positivo en la seguridad alimentaria de las familias, complementado por sus propiedades medicinales como: antitumorales y antibióticos; debido a su bajo contenido de azúcares y grasa son recomendados para aquellas personas con limitaciones de estos macronutrientes⁸.

6.2.1. Características Generales de las Setas

“Los hongos están formados por una serie de finos filamentos llamados hifas, que en conjunto forman lo que se llama micelio. En la naturaleza y en condiciones de humedad y temperatura favorables, el micelio se extiende sobre el sustrato adecuado, se transforma

⁷ Ciencias Naturales, Pedido a DISESA Hostos 202- Santo Domingo. R.D. Pág.48. disponible en: <http://www.encyclopediadetareas.net/2010/10/caracteristicas-generales-de-los-hongos.html>

⁸ <http://www.buenastareas.com/ensayos/Manual-De-Produccion-De-Hongos/31105529.html>

en pequeños grumos que aumentan de tamaño hasta formar la típica seta. El hongo formado con su sombrero y su pie, tiene la función de producir las estructuras de reproducción llamadas esporas cuya misión es perpetuar la especie. Las esporas se forman en la parte dentro del sombrero, en unas láminas verticales que se extienden desde la parte superior del pie hasta el borde del sombrero. Las setas se alimentan de materia orgánica en la que están creciendo, degradando las sustancias con enzimas que liberan al medio húmedo que les rodea, para que los nutrientes sean aprovechados por las hifas del micelio⁹.”

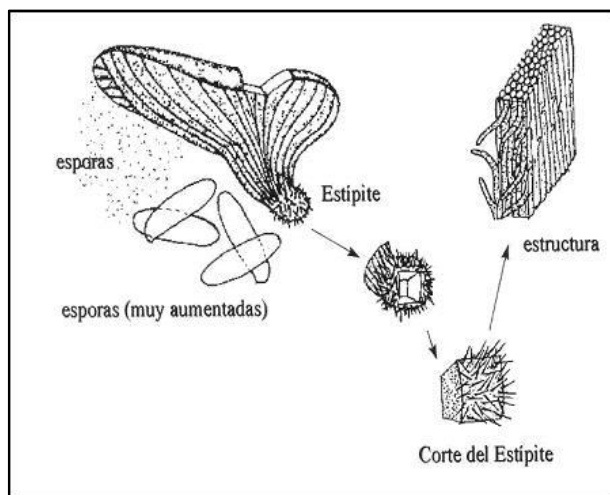


Figura 1. Características Generales de las Setas

Fuente:

http://autonomiaautogestion.unach.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=91&Itemid=146

El primer estado del desarrollo del *Pleuroma* es el "primordio". A un tamaño de 1-2 mm de altura se pueden reconocer como cuerpos redondos blanquecinos. El cuerpo está separado en dos aparentemente idénticas regiones. Conforme el primordio se alarga las dos zonas se diferencian en tres regiones píleo, láminas y estipe. Es importante notar que cuando joven (unos 8 a 10 cm) el *Pleuroma* es suave y cuando crece más se vuelve correoso y difícil de paladar¹⁰.

⁹

http://autonomiaautogestion.unach.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=91&Itemid=146

¹⁰ *Ibíd.*

▪ **Propiedades Alimenticias**

Tabla 1. Contenido nutricional de los hongos "*Pleurotus*"

NOMBRE	PESO
Calorías	14,0
Proteínas	1,9 g,
Grasa	0,1 g
Calcio	6,0 mg
Fósforo	68,0 mg
Hierro	0,5 mg
Vitamina B1	0,1 mg
Vitamina B2	0,45 mg
Vitamina B3	4,2 mg
Vitamina C	3,0 mg

Fuente:

http://autonomiaautogestion.unach.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=91&Itemid=146

Además tiene propiedades medicinales para los casos de colesterol y para quemar grasas. El hongo se considera un complemento alimenticio de gran valor nutricional, ya que sus proteínas tienen todos los aminoácidos esenciales para el desarrollo, por lo que se debe incluir en la dieta diaria. Es rico en carbohidratos, vitaminas como B1, B12, y C; fibra y minerales, y posee bajo contenido de grasas. Además posee minerales como potasio, fósforo, calcio¹¹.

"*Pleurotus ostreatus* (hongo Ostra): Su textura es correosa y un poco chiclosa. Cuando se come frito, salteado o asado tiene un sabor muy parecido a carne, siendo muy apetecido en el mundo entero y la competencia más cercana al champiñón de París. Se puede cocinar salteado, apanado, frito, asado, en guisos, en ensaladas, como ceviche y como uno guste¹²."

Cabe mencionar, que existe un gran interés en la producción de este tipo de hongos ya que su valor nutricional es muy bueno, contienen una apreciable cantidad de carbohidratos que no son del tipo de los almidones (los que engordan), su contenido de

¹¹ Ibíd.

¹² <http://hongos.cl/es/pleurotus-ostreatus-0>

fibra dietética, es también alto, sobretodo de quitina, un polisacárido con propiedades excepcionales en cuanto a que puede absorber fácilmente las grasas en el tracto digestivo. Muchas empresas de productos naturistas y dietéticos comercializan la quitina y sus derivados como el quitosán (Chitosán en inglés) como productos muy efectivos para evitar la obesidad ocasionada por la absorción de grasas.

También tienen una moderada cantidad de proteína de alta calidad, con todos los aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, por lo que se podría clasificar a las setas junto con las verduras más nutritivas y justo por debajo de las carnes (Bano y Rajarathman, 1998; Breene, 1990; Opletal, 1993; Stamets, 1993).

6.2.2. Valor nutricional de los Hongos Comestibles

Los hongos desempeñan un papel importante en la degradación de los vegetales, ya que los organismos que descomponen y metabolizan eficientemente la lignina. Por esta razón, sobre los desechos agrícolas crecen una gran variedad de hongos; muchos de estos son comestibles, han sido muy aceptados entre la población y poseen un alto contenido de proteínas y algunas vitaminas y minerales. Otra ventaja de los hongos, es que en general contienen más proteína que la mayoría de los vegetales y poseen todos los aminoácidos esenciales; asimismo son bajos en Calorías y ricos en vitaminas y minerales (Chang y Miles, 1984).

Dada la versatilidad de estos organismos, Eger, (1978). Menciona que cada especie de hongo posee variaciones significativas en cuanto a su composición química proximal. Dichas variantes son influenciadas principalmente por el sustrato y el método de cultivo, así como el origen geográfico de la cepa.

Para conocer su composición química proximal es necesario efectuar aislamiento y propagación de micelios de hongos silvestres, estudiar minuciosamente sus requerimientos nutricionales y obtener fructificaciones en el sustrato adecuado, las cuales se analizan por los métodos ya establecidos.

Macaya (1988), menciona que el valor nutritivo de los hongos comestibles es alto, contrario a lo que se pensaba. Según estudios realizados por especialistas en alimentos, como la mayoría de legumbres, los hongos comestibles están compuestos en gran parte de agua (alrededor de 80%) pero constituyen uno de los alimentos más ricos en cierto número de vitaminas. Tienen 19-35% de proteínas aprovechables en peso seco, en comparación con los vegetales (hortalizas y frutas), que solamente tienen 7,3 -13,2%, con excepción de la soya que tiene 39,1%; por otra parte la leche, carne y huevos tienen de 25 al 90% de proteínas. Sin embargo, a nivel de aminoácidos, las substancias precursoras de las proteínas, tales como la lisina y el triptófano, llegan a niveles de 4,5 – 9,9 g y 1,1 – 13 g respectivamente, en las orejas blancas o setas (*Pleurotus ostreatus*) y de 9,1 y 2,0 g en el champiñón (*Agaricus bisporus*), contra 6,4 y 1,6 g, respectivamente en los huevos de gallina.

El bajo contenido de carbohidratos hace de los hongos un alimento bajo en energía por lo que son altamente dietéticos. Además de contenido de ácidos grasos esenciales tales como el oleico y linoleico se encuentra en cantidades apreciables, tienen una cantidad mayor de fósforo del que poseen la mayoría de las legumbres, por lo que los hongos comestibles son un alimento adecuado (Chang y Hayes, 1978; Chang y Miles, 1989).

Con respecto al contenido de proteína, Crisan y Sands (1978) estudiaron la composición química proximal de casi 30 especies de hongos comestibles, entre ellos *P. ostreatus*. Chang (1980) recopiló información sobre el valor nutricional de cuatro de los principales hongos comestibles que se cultivan en el mundo: *Agaricus bisporus* (Lange) Imbac, *Lentinus edodes* (Berk.) Sing., *Volvariella volvacea* (Bull. ex Fr.) Sing., y *Pleurotus* spp. Sin embargo, para *Pleurotus* spp. no se tienen los estudios pertinentes que indiquen con claridad que substrato sólido de cultivo sea el más adecuado para su explotación en diversas regiones geográficas y la influencia que pudiesen tener estos con la cantidad de proteína de los carpóforos.

Tabla 2. Nutricional de las setas (*Pleurotus*) frescas

Calorías		33
	Cantidades por porción (100g.)	% Recomendado diario
Grasas totales	0g	0%
Grasas saturadas	0g	0%
Colesterol	0mg	0%
Sodio	33mg	1%
Total Carbohidratos	3g	1%
Fibra dietética	<1g	3%
Azúcares	<1g	
Proteínas	4.4g	
Vitamina A		0%
Vitamina C		0%
Calcio		0%
Hierro		0%

Fuente: <http://www.hongoscomestibles-latinoamerica.com/Pr/M/R/propiedades.htm>

Tabla 3. Nutricional de las setas (*Pleurotus*) deshidratados

Tamaño de la porción	7 gramos	
	Cantidad en base a la porción	% Diario recomendado
Calorías	25	
Total Grasas	0g	0%
Grasas saturadas	0g	0%
Colesterol	0mg	0%
Sodio	5mg	1%
Total Carbohidratos	4g	1%
Fibra	0.5g	3%
Azúcares	0g	
Proteínas	2g	
Vitamina A		0%
Vitamina C		0%

Fuente: <http://www.hongoscomestibles-latinoamerica.com/Pr/M/R/propiedades.htm>

6.2.3. Características de las Especies de *Pleurotus*

De las especies de *Pleurotus* anteriormente mencionadas, encontramos las siguientes: *Pleurotus ostreatus* (Jacquin ex Fries) Kummer, *P. pulmonarius* (Fries) Quelet y *P. florida*.

▪ Clasificación Taxonómica

Reino: Fungi

Grupo: Eumycota

Clase: Basidiomycetes

Subclase: Holobasidiomycetidae

Orden: Agaricales

Familia: Tricholomataceae

Género: *Pleurotus*

6.2.4. Morfología de *Pleurotus ostreatus* (Jacquin ex Fries) Kummer

Conocido como seta, oreja blanca, hongo ostra. *P. osteratus* presenta un sombrero en forma de repisa, de 4-14 cm. de diámetro, blanquecino, gris o de color café grisáceo; las láminas son blanquecinas; presenta un pie lateral corto, que en ocasiones puede ser excéntrico; la carne o contexto es blanca o blanquecina, con sabor y olor agradables. Los cuerpos fructíferos crecen en forma gregaria y por lo general, sobre troncos caídos o en pie, o en diversos restos vegetales. Distribuido por todo el mundo con temperaturas y bosques tropicales (Guzmán, et -al 1993).

Las especies de *Pleurotus*, son de los hongos comestibles cuyo cultivo se ha extendido por más países, debido a que presenta características organolépticas favorables como es un sabor y textura suaves. Los volúmenes de producción de *Pleurotus* lo ubican en el tercer lugar mundial, se han dedicado pocos esfuerzos para desarrollar la tecnología para

su cultivo. Si bien la producción de *Pleurotus* se realiza con procedimientos muy diversos, la mayor parte de ellos se caracteriza por un alto grado de empirismo¹³.

▪ **Características de *Pleurotus ostreatus***

Es un hongo comestible, estrechamente emparentado con la seta de cardo (*Pleurotus eryngii*), que se consume ampliamente por su sabor y la facilidad de su identificación. Presenta un sombrero de 5 a 20 cm de diámetro, con el pie desplazado hacia un lado y creciendo habitualmente junto a otros ejemplares superpuestos. La superficie es lisa y brillante; de color gris o gris oscuro, y en ocasiones gris pardo o azulado. El margen del sombrero cambia con la edad, siendo enrollado en los ejemplares jóvenes y abierto en los adultos. Tiene las láminas apretadas, delgadas, recurrentes y de color blanquecino. La carne es firme, algo dura en los ejemplares adultos, y de sabor y olor agradables. Crece en la superficie de tocones y troncos de maderas blandas como el chopo, la haya o el sauce, entre otros¹⁴.

La seta de ostra, como otras setas, representa una fuente importante de selenio. El selenio es muy importante para el metabolismo humano, y ha demostrado ser uno de los micronutrientes que poseen un mayor efecto antioxidante y de protección contra algunos tipos de cáncer. Su alto contenido en polisacáridos conlleva una acción beneficiosa sobre el sistema inmunológico¹⁵.

El micelio de este hongo puede crecer en una temperatura entre 0 y 35 °C, con temperatura óptima de 30 °C, y en un rango de pH entre 5,5 y 6,5 y se ha observado que después de cosechar los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus*, en los materiales usados

¹³ SOTO VELAZCO, CONRADO Y ARMANDO ARIAS. El cultivo de las setas (*Pleurotus* spp.): una tecnología de producción de alimentos. Ediciones Cuéllar, 2004.

¹⁴ <http://elgourmet.com/glosario/girgola>

¹⁵ Bobek, P., et al. 1998. Dose and time dependent hypocholesterolemic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rats. *Nutrition* 14(3):282-286

como sustratos las cantidades finales de hemicelulosa, celulosa y lignina se han reducido en un 80% sugiriendo que todos los materiales que contienen estos compuestos, pobres en nitrógeno pueden ser usados como sustratos para *Pleurotus* spp. (Zadrazil, F. 1974).

El contenido de humedad en el sustrato para el desarrollo de los hongos debe estar entre el 50 y el 80%, la fructificación suele darse en condiciones normales cuando se tiene un 20% de oxígeno y una concentración de CO₂ no mayor de 800 ppm en el ambiente que circunda al hongo y la humedad relativa óptima para la fructificación de *P. ostreatus* es de 85 a 90%. (Sánchez JE, Royse DJ. 2001).

El cultivo de los hongos del género *Pleurotus* spp., tiene un gran atractivo debido principalmente a que producen proteínas de alta calidad sobre un sustrato que consiste en materiales de desecho de carácter lignocelulósico, materiales producidos en gran cantidad en la actividad agrícola. A pesar de que la calidad de las proteínas de los hongos no es tan alta como la proteína animal, se considera que la producción de ésta es más eficiente en términos de costos, espacio y tiempo.



Figura 2. Carpóforos de *Pleurotus ostreatus*
Fuente: http://leben.com.mx/nueva/p_propiedades.htm

6.2.5. *Pleurotus pulmonarius*

P. pulmonarius presenta un sombrero convexo expandido ampliamente, ondulado en forma de ostra, eventualmente plano y muchas veces ondulado al envejecer, de 5-20 cm de diámetro, grisáceo, blanca a beige, el pie es típicamente, excéntrico, pegado al sombrero, con velo ausente. Estos hongos forman grupos de más de 5 a 6 fructificaciones. Conocido comúnmente como hongo blanco, y en general con los mismos nombres comunes que *P. ostreatus*, se diferencia de este por ser blanquecino. Ampliamente reportado en Norteamérica. (Guzmán, et al 1993)

Jairo Mosquera, funcionario de la UN en Palmira, junto a estudiantes y egresados, impulsan el negocio de un hongo muy apetecido en el mercado por sus propiedades nutricionales y medicinales y por poseer porcentajes de 30 a 40 en proteína, que lo convierten el único hongo capaz de reemplazar la carne de la dieta humana. Adicionalmente, posee sustancias que lo convierten en un hongo con propiedades antitumorales, generador de defensas para el organismo y sin azúcares, por lo que su consumo es apto para diabéticos.

Las especies del género *Pleurotus*, son lignocelulíticas, es decir, tienen la capacidad de degradar los materiales ricos en lignina y celulosa. Esta característica hace que su cultivo resulte bastante económico. Ya que permite el aprovechamiento de una gran variedad de desechos agroindustriales, más aún, representa una buena alternativa para su reciclaje. O sea que la paja o el sustrato que se desecha, se puede usar para hacer nuevas compostas y al revolverlas en la tierra, se enriquecen. O puede ser utilizada para cultivos verticales, y para sembrar en ellos acelgas, tomates, cebollas, calabacín, lechuga, coliflor, si se tiene poco espacio en el solar de las casas¹⁶.

Por otro lado, la producción natural de los hongos, es por temporadas. Con agro-industrialización se pueden producir miles de toneladas de hongos durante todo el año y así, satisfacer las necesidades alimenticias de los pueblos. Lo que es claro es que los

16

http://autonomiaautogestion.unach.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=91&Itemid=146

hongos jugarán un papel determinante en alimentación y supervivencia de hombres y mujeres. En un futuro no muy lejano, sobre todo, tomando en cuenta que los hongos comestibles industrializados se cultivan sobre desechos de la producción del campo. Su producción puede permitir darle seguimiento al ciclo agrícola-productivo.

Los hongos comestibles, representan una gran fuente alimenticia que usaron nuestros pueblos mayas desde hace muchos años. Ellos recolectaban de los árboles y ahora nosotros los cultivamos entre la población, en las diferentes comunidades de nuestro país. No así en los grandes centros urbanos, donde su consumo se limita a su acceso enlatado. Aunque hay ciudades en las que la mantiene producción de traspatio¹⁷.

6.2.6. *Pleurotus sajor – caju*

El ciclo de cultivo de este género es de 75 días, tiempo en el cual se recolectan cuatro cosechas, obteniéndose la primera al mes de haberse hecho la siembra. Aunado a esto, se ha descrito una eficiencia biológica que puede, incluso, exceder el 100% (en base seca). Entre sus cualidades nutricionales se encuentra el alto contenido en proteínas (entre 23% y 30%) y vitaminas (destacando las vitaminas constituyentes del complejo B), permitiendo a quienes deben disminuir el consumo de carnes rojas, sustituir o complementar sus comidas con este hongo. Además de ello, la versatilidad de su cultivo ha despertado el interés de los cultivadores de hongos de varias especies de este género, ocupando el segundo lugar en la producción mundial, con cerca del 25% de la producción total representada por este género (principalmente la especie *Pleurotus ostreatus*), siendo China su mayor productor. (Rodríguez y Gómez 2001).

Son también una importante fuente de calcio y fósforo y se cultivan en un amplio rango de desperdicios de plantas (paja, aserrín, cáscaras de algodón), lo que constituye un indicio de demandas nutricionales simples para su desarrollo, Colombia, siendo un país caficultor por excelencia, en el que se producen como desechos miles de toneladas anuales de pulpa y tallo de cafeto, cuenta con un potencial enorme para el cultivo de los

¹⁷ *Ibíd.*

hongos en dichos sustratos, contribuyendo así a la solución de este problema ambiental, ya que estos desechos se han convertido en uno de los principales contaminantes de los suelos y las fuentes hídricas. (Yang, Lin y Mau 2001).

De acuerdo con estudios recientes, en Colombia se tienen aproximadamente 800.000 hectáreas cultivadas de café, que generan en promedio dos toneladas de pulpa fresca por hectárea y año. (Rodríguez y Gómez 2001).



Figura 3. Carpóforos de *Pleurotus sajor-caju*
Fuente: Finimundy, T. C.

6.2.7. Tipo de sustratos evaluados y rendimientos obtenidos

Los sustratos utilizados en la siguiente investigación, son desechos orgánicos procedentes de la plaza de mercado de Quibdó como los residuos de caña de azúcar y vástagos de plátano., debido a que ocasionan contaminación ya que éstos terminan en las laderas del río Atrato y sus alrededores, lo que genera problemas con zancudos, lixiviados, roedores etc. El rendimiento obtenido del residuo de la caña de azúcar es del 100% ya que todo se utiliza en el proceso de obtención de los hongos comestibles del género *Pleurotus*.

- **Generalidades del bagazo de caña de azúcar**

El bagazo es un residuo de la caña de azúcar y como tal, en la industria azucarera regularmente se desecha¹⁸.

Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.

Actualmente se aplica este término al residuo fibroso que se obtiene al triturar y comprimir la caña de azúcar en los molinos del central para extraerle el jugo (guarapo). Fundamentalmente constituye la parte fibrosa de esta planta.

▪ **Composición.** Cuando el bagazo sale del molino posee aproximadamente la siguiente composición:

Humedad (50%)

Sólidos solubles (5%)

Sólidos insolubles o fibra cruda (45%)

Además su composición química es la siguiente:

Carbono: 47 %

Hidrógeno: 6,5 %

Oxígeno: 44 %

Cenizas: 2,5 %

▪ **Constitución.** De forma general, el bagazo está constituido por:

Holocelulosa (75%)

Celulosa (50%)

Celulosa Alfa (37%)

¹⁸ <https://www.uv.mx/universo/272/infgral/infgral01.htm>

Celulosas Beta y Ganma (13%)

Hemicelulosa (25%)

Lignina (20%)

Otros componentes (5%)

- **Estructura.** El bagazo consta de dos partes¹⁹ fundamentales:

La fibra: Fibras relativamente largas, derivadas principalmente de la corteza y otros haces de fibra del interior del tallo.

El meollo: Se deriva del parénquima, parte de la planta donde se almacena el jugo que contiene el azúcar.

La longitud media de las fibras del bagazo es de 1 a 4 milímetros y su ancho varía entre 0,01 y 0,04 milímetros

Entre los derivados del bagazo llama la atención el xilitol (un carbohidrato) que sirve para elaborar alimentos y bebidas diversas. Fue descubierto en 1891 por el químico alemán Emil Fischer pero no fue sino hasta la década de los sesenta cuando se comenzó a usar como edulcorante. El xilitol sirve para aplicar en productos de panadería, especias y condimentos, mermeladas, confitería, gomas de mascar, chocolate, caramelos, gelatina, budín, dulces, helados, catsup y leche condensada, así como también en algunos medicamentos y pastas dentales, pues tiene sabor de mentol²⁰.

- **Propiedades del vástago del plátano**

El plátano (*Musa paradisiaca*) es una fruta tropical de alto consumo especialmente en países de África, Latinoamérica y el Caribe (1-3). Colombia es el segundo productor mundial, después de Uganda, alcanzando en el 2003 una producción de 2.925.000

¹⁹ http://www.ecured.cu/index.php/Bagazo_de_ca%C3%B1a

²⁰ <https://www.uv.mx/universo/272/infgral/infgral01.htm>

toneladas (1). Se estima que del área cultivada en plátano en Colombia, un 87%, se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13% equivalente a 409.330 hectáreas es monocultivo tecnificado (3). La práctica agronómica del corte de la planta de plátano para que crezca otra, genera día a día grandes cantidades de residuos que son descartados cerca de las orillas de los ríos o quebradas y en los caminos, causando un problema ambiental (1,2). 1,2En los últimos años ha surgido un fuerte interés por darle un manejo adecuado y eficiente a los residuos agroindustriales (3-6) y aprovecharlos para el desarrollo de bioprocesos en los que se involucran como sustratos para la producción de ácidos orgánicos, etanol, enzimas y otros metabolitos secundarios importantes para la industria farmacéutica y alimentaria (2-5,7-17) La fermentación en estado sólido (FES) es una técnica aplicada para la transformación y bioconversión de residuos agroindustriales. Ofrece notables ventajas biotecnológicas, como la alta concentración de metabolitos obtenidos, estabilidad de los productos y adaptabilidad de los microorganismos - especialmente los hongos- al sistema, con bajo contenido de agua libre. (2,4-6, 9, 10, 12-14, 16, 18, 19) Los residuos de las cosechas de plátano son en su mayoría hojas, pseudotallos y restos de fruto. Las hojas y los pseudotallos contienen niveles importantes de ligninocelulosa, mientras que los restos de fruto presentan en su composición gran cantidad de micronutrientes (1, 2, 8, 12, 20-22). Estas propiedades hacen de los residuos sustratos eficientes para algunos hongos basidiomicetos, especialmente hongos de la podredumbre blanca, los cuales producen enzimas ligninolíticas capaces de degradar completamente la lignina, polímero conformado por p-hidroxi-cinnamil alcohol, y metabolizar los monómeros fenólicos en compuestos aromáticos de interés tales como vainilla, ácido ferúlico y eugenol. Todos estos metabolitos son importantes para la industria alimentaria, farmacéutica y de colorante.

Tabla 4. Composición teórica de los residuos foliares (hojas y tallos) de plátano

ÍNDICE %	MÍNIMO	MÁXIMO
Materia Seca	91,78	93,71
Cenizas	11,31	15,94
Extracto etéreo acidificado	2,49	4,23
Fibra bruta	40,15	43,96
Nitrógeno	1,19	1,85
Energía bruta MJ/kgMS	15,66	17,83

Fuente: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/vitae/article/viewFile/492/428>

▪ Usos que tienen los residuos orgánicos de la plaza de mercado en Quibdó

El área urbana del municipio de Quibdó cuenta con 1 plaza de mercado, ubicada en el costado sur del Malecón, el cual se realiza una comercialización informal de los productos de la canasta familiar, dicha actividad genera una serie de residuos orgánicos de origen vegetal (fruta, verduras, hortalizas, hojas etc.), animal (pesado, productos cárnicos y lácteos etc.), otros residuos como plásticos, cartón, botellas (productos no biodegradables).

Dichos residuos no tienen ningún tratamiento residual, debido a que son depositados en su gran mayoría al río Atrato; y solamente, en algunos casos son recogidos en contenedores por el carro de basura.

6.3. Etapas del Proceso de Producción de Hongos Comestibles

Los hongos del género *Pleurotus*, conocidos también como hongos ostra y popularmente como Orellanas, son potentes agentes biológicos que utilizan los residuos agrícolas no comestibles como sustratos, para producir alimentos para el consumo.

Cada año se generan en el mundo alrededor de 50×10^9 toneladas de residuos agrícolas constituido básicamente por lignina y celulosa, que sólo pueden ser transformados en

alimentos o en abono orgánico mediante la acción biológica de microorganismos, predominantemente bacterias, levaduras y hongos.

6.3.1. Tecnología de Cultivos

Para establecer un cultivo de hongos del género *Pleurotus* en residuos agroindustriales es necesario realizar 8 etapas a saber:

1. Producción del blanco o semilla del hongo.
2. Adecuación del sustrato.
3. Siembra del micelio del hongo (inoculación).
4. Incubación.
5. Fructificación.
6. Cosecha.
7. Manejo postcosecha.
8. Manejo de residuos.

A continuación se mostrará la forma de cómo se adelantó la producción de hongos comestibles a partir de residuos sólidos de Caña de Azúcar y Vástago de Plátano, objetos de esta investigación, teniendo en cuenta las anteriores etapas.

▪ Producción del blanco o semilla del hongo

La semilla del hongo se obtiene a partir de cultivos puros que se mantienen crio-conservados en agar y nitrógeno líquido. De estos cultivos se transfiere el micelio a tubos de ensayo que contienen agares nutritivos, y de allí a cajas de Petri o botellas planas que contienen agar como sustrato, para incrementar el micelio. Luego se prepara la semilla utilizando granos de cereales (tales como el trigo, millo, cebada, sorgo o arroz). El procedimiento consiste en hidratar mediante calor el grano del cereal hasta una humedad del 45%, lo que en la práctica se consigue lavando el grano para retirarle impurezas, adicionar agua hasta cubrirlo y hacer la cocción de 15 minutos aproximadamente hasta el consumo de la misma. Seguidamente se llenan bolsas de polipropileno de calibre 2 (de 15,5 cm x 23 cm) que son resistentes al calor, con 500 g del cereal hidratado y se someten a esterilización durante 20 minutos a 121 °C. El material se deja enfriar y luego

se siembra el micelio multiplicado en el agar. En la parte superior de la bolsa se coloca un pedazo de algodón amarrado con fibra, para permitir el intercambio de aire y facilitar el crecimiento del micelio. Esta etapa tiene una duración aproximada de tres semanas. (Rodríguez y Gómez, 2001)

Al final de este tiempo el cereal queda completamente cubierto con el micelio del hongo (coloración blanca) y listo para ser utilizado. En caso de no utilizarse inmediatamente debe refrigerarse a 4°C durante un período máximo de dos meses. En la actualidad existen laboratorios que ofrecen comercialmente esta semilla.

▪ **Adecuación del sustrato**

La corteza de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), esta se obtiene a partir del pelado de la caña, que se utiliza para su posterior venta en bolsas para el consumo directo, este producto se convierte una gran fuente de empleo para las familias que derivan su sustento de ésta actividad.

Una vez se obtienen los desechos estos son sometidos a un proceso de limpieza y desinfección para posteriormente iniciar con la adecuación del sustrato.

El bagazo es el residuo lignocelulósico fibroso remanente de los tallos de caña, obtenido a la salida del último molino del tándem azucarero, constituyendo un conjunto heterogéneo de partículas de diferentes tamaños que oscilan entre 1 y 25 mm, presentando una fracción promedio de aproximadamente 20 mm. Desde el punto de vista físico, el bagazo integral se compone de 45% de fibra, 2-3% de sólidos insolubles, 2-3% de sólidos solubles y 50% de humedad, mientras que desde el punto de vista químico, se compone de 46,6% de celulosa, 25,2% de hemicelulosas (pentosanos) y 20,7% de lignina. Las hemicelulosas abarcan un conjunto de polisacáridos diferentes, cuya composición tiene como características comunes: solubilidad en solventes, reactividad frente a los ácidos y descomposición en azúcares y furfural. Estas propiedades las diferencian, analíticamente, del resto de los componentes químicos del bagazo. La lignina, tercer componente en importancia cuantitativa del bagazo, entre 20 y 22%,

representa un conjunto de polímeros amorfos, reticulares, de altos pesos moleculares y naturaleza eminentemente fenólica [ICIDCA, 2000].

La doctora Mary Ann Tavanlar, investigador del Instituto Nacional de Biología Molecular y Biotecnología (BIOTECH) con sede en la Universidad de Filipinas Los Baños (UPLB), dijo: “La fibra y el jugo son los principales componentes del pedúnculo plátano”. Varios productos fueron desarrollados a partir de este material utilizando equipos disponibles y tecnologías sencillas. En lugar de quedarse a pudrirse en el campo, el pedúnculo puede utilizarse y por ello puede emancipar ingreso agrícola minifundista²¹.

El pedúnculo, que tiene el racimo de banano, se encontró que se compone principalmente de fibra y jugo. Estos dos fueron utilizados para hacer varios productos de valor agregado.

La fibra se utiliza como pasta y productos de papel y tableros de fibras compuestas que incluyan tableros aglomerados y pedúnculo de madera-cemento.

La fibra también se procesa en el pedúnculo de plátano en polvo (PBP) como una fuente de fibra dietética para hacer del pedúnculo productos cárnicos enriquecidos con fibra de como hamburguesas, salchichas, y re-estructurado jamón.

La mayoría de las bebidas deportivas comerciales contienen potasio y sodio para prevenir la deshidratación y mantener los niveles de electrolitos. “Las muestras de las bebidas deportivas en el mercado contienen sodio y potasio que van de 24,8 a 48,3 miligramos/100 mililitro y 11,7 a 19,5 mg/100 ml, respectivamente. El Jugo del pedúnculo contenía 455,2 y 425,8 mg/100 ml de sodio y potasio, respectivamente, que eran aproximadamente 9-30 veces mayor que en las bebidas deportivas comerciales”, agregó el informe.

²¹ Read more at <http://www.mb.com.ph/new-uses-of-banana-stalks/#EPtheLdBw3QHF0V3.99>



Figura 4. Pedúnculo de Plátano

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Musa_balbisiana

▪ Mezcla y embolsado

Lo más importante en esta etapa es la relación Carbono/Nitrógeno de la mezcla. Es por ello, que para el shiitake, esta relación debe ser de 30, y en el caso de la orellana puede llegar hasta 300, es decir, elementos ricos en Carbono. En el caso de las orellanas se pueden usar diversos materiales orgánicos con alto contenido de carbono; en nuestro caso usamos una fina mezcla de tamo y cascarilla de arroz, con borra de café. Estas mezclas reciben el nombre de sustrato.

Se parte del principio que todas las materias primas utilizadas deben ser de la mejor calidad, para poder así obtener un producto de excelente calidad. Estas mezclas se llevan a bolsas de polipropileno de alta densidad a las cuales se les coloca un filtro de papel, para luego ser llevadas a la siguiente fase.

▪ Esterilización

En esta etapa se busca eliminar por completo cualquier contaminante que pueda llevar el sustrato, ya sean bacterias, microorganismos u hongos contaminantes. Para ello, es preciso someter el sustrato a altas temperaturas y altas presiones. Existen dos métodos para ello:

Industrial. En el cual mediante el uso de una autoclave, se somete el sustrato a vapor sobrecalentado, a una temperatura de 121 °C, y a una presión de 15 psi.

Artisanal. Más que una esterilización es un proceso de pasterización, en el cual mediante el llamado "baño maría", el sustrato se somete a vapor a una temperatura de ebullición (100°C) y una baja presión, mediante el uso de ollas o "indios".

▪ **Siembra del micelio del hongo (inoculación)**

Consiste en adicionar la semilla del hongo al sustrato ya preparado. Se debe realizar en un sitio cerrado, sobre un mesón previamente desinfectado con alcohol para evitar que se presente contaminación.

▪ **Incubación**

En esta fase se consigue que el micelio invada totalmente el sustrato. Se debe realizar en un cuarto cerrado, seco y oscuro. Las bolsas pueden acomodarse en estantería metálicas, de madera, fabricadas con latas de guadua o colocarse directamente en el suelo.

Se recomienda espolvorear carbonato de calcio sobre las superficies de incubación para prevenir el asentamiento de hongos competidores y la presencia de insectos indeseados. Además, instalar una escotilla de ventilación que permita un cambio natural de aire, si el volumen ocupado por las bolsas es inferior al 10% del volumen del cuarto. Si el volumen es superior al 10%, se recomienda realizar cambios de aire a razón de 100m³ por tonelada de sustrato/hora (5, 6), lo que en la práctica se consigue cambiando el aire del cuarto 2 veces/hora con la ayuda de un ventilador. La duración de esta etapa oscila entre 3 y 4 semanas, tiempo en el cual el sustrato se torna blanco.

Este proceso se puede observar fácilmente, ya que todo el sustrato se va tornando blanco y se pueden observar las hifas del hongo (especie de raíces).

En este cuarto de incubación se deben tener las condiciones propias de temperatura, humedad y concentración de CO₂, según los requerimientos de cada especie de hongo.

En promedio, la temperatura debe estar entre los 18 y 22°C y la humedad debe estar alrededor del 70%.

▪ **Fructificación**

Una vez el sustrato es invadido por el micelio del hongo es necesario cambiar las condiciones del cultivo, aumentando la humedad relativa y las condiciones de luminosidad, para inducir la formación de los cuerpos fructíferos (hongos). Esta etapa se puede realizar en el mismo cuarto de incubación, si todas las bolsas están cubiertas por el micelio; de lo contrario debe destinarse un cuarto para esta etapa. Éste debe tener ventilación natural (contar con ventanillas inferiores que permitan la entrada del aire nuevo y un falso techo que permita su salida) o una renovación de aire inducida con ventiladores y piso en cemento, que permita mantener el cuarto húmedo.

La bolsa se abre (retirando la fibra) y se humedece al igual que el piso del cuarto, para con ello asegurar una humedad relativa superior al 90%. Debe permitirse la entrada de luz diurna.

Una vez colonizado todo el sustrato, los bloques son sometidos a un cambio drástico de condiciones, al ser pasados al área de fructificación. Esta área debe tener una humedad del 90% - 95% y una temperatura entre 15 - 18°C, en promedio. Esto hará que el hongo fructifique y se obtengan las setas.

▪ **Cosecha**

La etapa de fructificación (formación de los cuerpos reproductores) puede llevarse a cabo en el mismo cuarto donde se realizó la incubación, siempre y cuando éste tenga los elementos necesarios para suministrar las condiciones de ventilación, temperatura, humedad y luz que requieren los primordios para su desarrollo.

En esta etapa deben realizarse ajustes ambientales para inducir al micelio a formar cuerpos fructíferos. El tamaño de los cuartos de fructificación para el cultivo de los hongos debe conservar una relación de 1 m³ de volumen de cuarto por cada 35 kg de

sustrato de fructificación. Si se dispone de ventiladores que permitan la renovación del aire esta relación se puede incrementar hasta 50 kg/m³.

En la Tabla 5 se presenta un cuadro con los problemas que se pueden presentar en la etapa de fructificación, sus causas y posibles soluciones.

Tabla 5. Diagnóstico de los problemas más frecuentes encontrados en la etapa de incubación del cultivo de hongos comestibles y medicinales

PROBLEMAS	CAUSAS	SOLUCIONES
Contaminación de las tortas con microorganismos competidores	Acumulación de polvo y desinfección deficiente en el laboratorio.	Limpieza constante y rotación de desinfectantes.
	Inadecuada esterilización del sustrato	Verificar temperaturas y tiempos de esterilización descritos en los protocolos
	Valores CO ₂ superiores a 500 ppm de	Aumentar la ventilación del área.
	Fuente del inóculo contaminado	Seleccionar un inóculo de calidad, libre de contaminación y fresco.
	Exceso de humedad del sustrato.	Verificar que el sustrato se encuentre con la humedad requerida para el crecimiento del hongo.
Contaminación por insectos	Entrada del personal sin la indumentaria adecuada.	Proveer al personal de batas, cofias, tapabocas y botas de caucho para uso exclusivo en el cultivo.
	Al área de incubación le falta hermeticidad.	Construir un vistiere para una entrada previa al área de incubación. Sellar las posibles entradas de insectos en techos, ventanas y paredes. Colocar mallas mosquiteras en las zonas de ventilación.

Fuente: Rodríguez Valencia, Nelson. Araque Fonseca Martha Liliana. Producción de los Hongos Comestibles Orellanas y Shiitake

▪ Manejo postcosecha

La cosecha de los hongos se realiza manualmente²². Después de cosechar no deben almacenarse los hongos en ambientes húmedos, calurosos y sucios. Por el contrario,

²² Rodríguez Valencia, Nelson. Araque Fonseca Martha Liliana. Producción de los Hongos Comestibles Orellanas y Shiitake.

estos deben consumirse frescos o someterse a procesos de refrigeración, deshidratación o conservación en salmuera, para alargar su tiempo de duración. (Perdomo 2006).

El deterioro durante el almacenamiento puede ser causado por bacterias u hongos presentes en el cuerpo reproductor. La textura de los hongos se altera a medida que pierden su firmeza y su carne se oscurece. El agua dentro de los hongos también favorece el crecimiento bacteriano. El manejo postcosecha puede dividirse en tiempos cortos y tiempos largos de almacenamiento, de acuerdo al tiempo necesario para su conservación.

Tiempos cortos de almacenamiento: La vida media de los hongos frescos puede extenderse por refrigeración (1-4°C), ya que el enfriamiento de estos disminuye la velocidad de todos los procesos fisiológicos. La vida de anaquel para los hongos puede variar de 1 día a 2 semanas.

El mejor método para el almacenamiento en frío es conservarlos entre 8 y 10°C en bandejas de icopor con cubierta de papel cristaflex. Al envolver a los hongos con esa cubierta plástica con microporos puede mejorar su vida de almacenamiento, ya que se reduce la pérdida de humedad y se preserva la calidad de los hongos.

Tiempos largos de almacenamiento: Para alargar los tiempos de almacenamiento de los hongos, los métodos más empleados son: el enlatado, el encurtido y el secado.

▪ **Manejo de Residuos**

Los sustratos para el cultivo de los hongos ostra se pueden adecuar ya sea mediante una fermentación anaerobia o mediante un proceso térmico²³.

²³ Protocolo: Realizado por Nelson Rodríguez Valencia. Ingeniero Químico. Asistente de Investigación. Cenicafé. Martha Liliana Araque Fonseca Microbióloga. Servicios Profesionales. Cenicafé Preparación de Sustratos para Hongos Comestibles y Medicinales. Adaptación e implementación de cinco cepas de hongos comestibles en diferentes subproductos agrícolas para mejorar la productividad y competitividad de ASOFUNGICOL en el Huila.

Fermentación Anaerobia. Para la fermentación anaerobia o en frío los materiales deben ser picados a tamaño fino, de 2 a 5cm y deben retener en torno al 70% de humedad.

El contenido de nitrógeno puede estar comprendido entre el 0.5 y 1.5%. Si el contenido es menor, los rendimientos pueden resultar escasos y con un contenido mayor, la fermentación deriva en putrefacción.

Este proceso se realiza en un recipiente grande de plástico preferiblemente, con agua limpia no contaminada, donde es sumergido el material a tratar, en una proporción de una parte de sustrato por 10-20 partes de agua, durante 8 a 15 días aproximadamente.

El principio bioquímico de la operación se basa en que todos estos materiales al ser sumergidos en agua sufren una fermentación anaerobia por acción de las bacterias lácticas, principalmente cocos, presentes de forma natural.

Tratamiento Térmico. Los sustratos para el cultivo de *Pleurotus* spp. son generalmente sometidos a semi-esterilización rápida, con inyección del vapor en la masa del producto para mantener la temperatura entre 90°C y 95° C, durante varias horas. Se elimina así, la fauna y la flora parásita o competidora y después se realiza un enfriamiento a 25°-30°C para luego hacer la inoculación con la semilla de siembra.

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

- El sustrato agotado después de realizada la cosecha.
- Las bolsas plásticas utilizadas en el cultivo.
- Las bolsas contaminadas o sin crecimiento micelial.
- Los residuos del pie del hongo, en el manejo postcosecha.

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

Los incrementos en el contenido de fibra, Ca y Mg en el residuo respecto al sustrato fresco se deben a las pérdidas de compuestos solubles durante la fase de fermentación del sustrato y a las pérdidas de materia seca de éste durante la fase de respiración del hongo, que hace que los valores de estos parámetros se concentren.

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

La pérdida de materia orgánica es el criterio más simple para evaluar la degradación del sustrato. Esta evaluación se realiza tomando en cuenta el hecho de que durante el crecimiento de los hongos y la consecuente descomposición del sustrato hay pérdidas de CO₂ y H₂O (Rajaratnam (1991). De igual forma, la relación C/N, refleja la degradación de la materia orgánica, pues al disminuir el contenido de C, la relación disminuye.

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

El sustrato residual puede utilizarse en la alimentación animal, ya que se encuentra parcialmente delignificado y enriquecido con la proteína del micelio. (Rodríguez y Gómez 2001).

6.3.2. Residuos orgánicos en las plazas de mercado.

Caracterización los Residuos Sólidos. Los residuos sólidos ordinarios y peligrosos son causa de problemas ambientales en las áreas urbanas, rurales y especialmente zonas industrializadas de los municipios, ya que generan impacto ambiental negativo por el inadecuado manejo de los mismos y amenazan la sostenibilidad y sustentabilidad ambiental. Es por esto que se debe tener especial cuidado en el manejo que se le da a las basuras que generamos dentro de nuestro hogar o lugar de trabajo y estudio.

Los residuos sólidos son cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final; los podemos clasificar en residuos orgánicos e inorgánicos.

Acorde con la normatividad ambiental colombiana (Decreto 1713 de 2002) se define Gestión integral de residuos sólidos: “al conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final”.

Para ampliar este concepto se hace necesario familiarizarse y entender la jerarquía del manejo de residuos (Figura 6), la cual tiene como objetivo fomentar la gestión de los desechos enfatizando en su minimización desde el origen (evitar su producción) y en la recuperación al máximo del valor de aquellos que no pueden dejar de generarse (aprovechamiento y valoración). Se establece la reducción en la fuente como primera opción, seguida de la reutilización, la recuperación a través de alternativas como el reciclaje y el compostaje (u otras técnicas de transformación de residuos biodegradables), la recuperación de energía, el tratamiento y por último, la disposición final como la última y menos deseable opción.

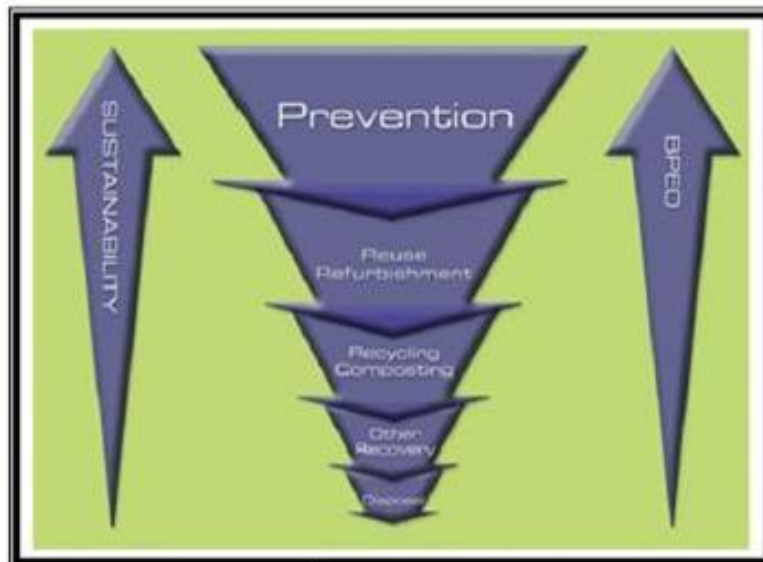


Ilustración 5. Jerarquía del Manejo de Residuos Sólidos
Fuente: SEPA (Scottish Environment Protection Agency) (2001)
Entiéndase por BPEO: (Best Practicable Environmental Option)

1. No genere residuos en la fuente (Prevention).
2. Si se genera residuos en la fuente, reutilícelos (Reuse and refurbishment).
3. Si no se pueden reusar, recupere la materia prima principal para la manufactura de nuevos productos, si hay un beneficio ambiental (Recycling). Si se trata de material biodegradable, valorícelo como materia prima secundaria (Composting).
4. Si no puede aprovecharlo de otra forma y su poder calorífico lo admite, utilícelo como combustible (OtherRecovery).
5. Si ninguna de las opciones anteriores son practicable, proceda a utilizar las diferentes opciones de disposición final (Disposal), seleccionando la que tenga menor impacto ambiental (Porteous, 2000).

Tras la prevención en la generación de residuos, base de la pirámide de gestión, una parte fundamental en la jerarquía del manejo de los residuos sólidos es la referida a las fases de aprovechamiento y valorización (recuperación, reutilización, reciclaje, compostaje). De ellas se derivan beneficios ambientales y económicos, entre otros, la disminución del volumen de residuos sólidos que van para disposición final. Lo anterior conlleva a incrementar la vida útil de los rellenos sanitarios y a su vez a disminuir la producción de gases y lixiviados, pues el material orgánico se desvía para ser

aprovechado por ejemplo, para compostaje o lombricultura. En cuanto a los aspectos socioeconómicos, la generación de empleos en las etapas de recolección, clasificación y transformación de los materiales es tal vez una de las mayores ventajas, pues gracias a la recuperación de los residuos sólidos se genera un mercado en el cual las nuevas materias primas provenientes de los desechos entran a competir y generar mayores ingresos.

El aprovechamiento y la valorización de los residuos sólidos es aplicable a cualquier región, combinando opciones de manejo que incluyan técnicas como el reuso, reciclaje, compostaje, biogasificación y tratamiento mecánico-biológicos entre otros. Lo importante no es cuantas opciones de manejo se apliquen, si no que las utilizadas sean parte de una estrategia que responda a las necesidades locales y a su vez cumplan con la normatividad ambiental (Instituto Nacional de Ecología, 2001).

Un diagrama simplificado que muestra las interrelaciones de los elementos funcionales en un sistema de manejo de residuos sólidos se puede apreciar en la Figura 6:

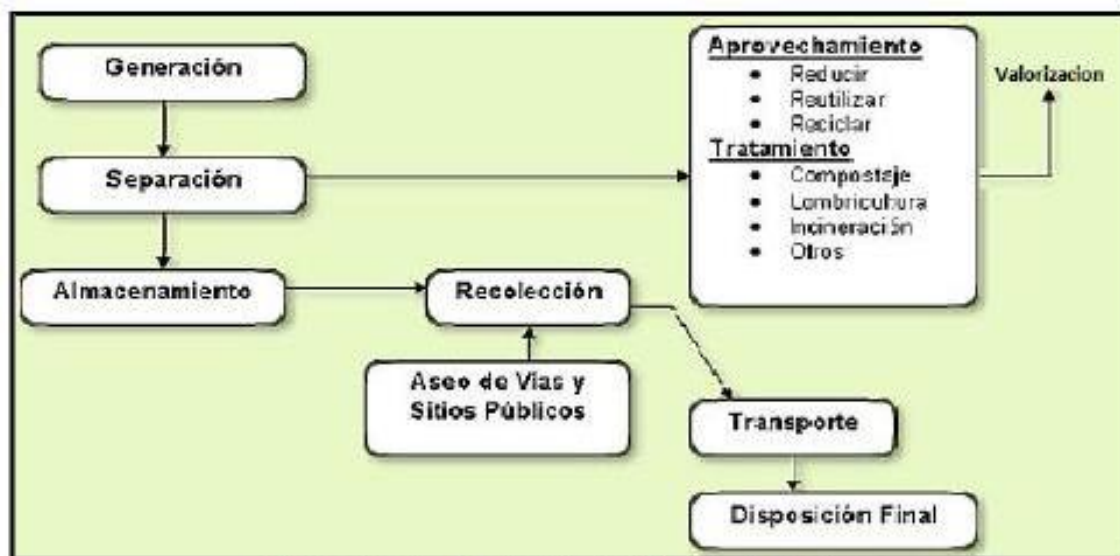


Ilustración 6. Diagrama de un Sistema de Manejo de Residuos Sólidos
Fuente: Adaptado de la Fundación CEPRONA con base en OPS / OMS 2006

La anterior figura muestra de una manera sencilla el flujo de manejo de los residuos sólidos, aplicable para diferentes tipos, como los municipales e industriales, todo con el

único objetivo de disminuir el volumen e impacto generado por el manejo inadecuado de los desechos. El aprovechamiento de los residuos sólidos debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente²⁴.

▪ **Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos**

De acuerdo a la Política para la Gestión de Residuos 12, el aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuando la materia inicial es un residuo, entendiéndose que el procesamiento tiene el objetivo económico de valorizar el residuo u obtener un producto o subproducto utilizable.

Aprovechables son aquellos que pueden ser reutilizados o transformados en otro producto, reincorporándose al ciclo económico y con valor comercial.

La maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las basuras, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final o que simplemente son dispuestos en cualquier sitio contaminando el ambiente.

El aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente. De modo tal, que las normas y acciones orientadas hacia los residuos aprovechables deben tener en cuenta lo siguiente: Se trata de materia prima con valor comercial, en consecuencia sujeta a las leyes del mercado y consideradas como insumo.

24

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358043/exe/leccin_1_definiciones_bsicas_y_conceptos_sobre_gestin_integral_de_residuos_aprovechamiento_y_valorizacin.html

Su destino es el aprovechamiento ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros.

La definición de residuo aprovechable se deberá hacer por las autoridades ambientales y municipales en sus respectivos Planes de Gestión de Residuos Sólidos, que deberán formular.

La calificación de residuo aprovechable debe darse teniendo en cuenta que exista un mercado para el residuo, en el cual están comprometidos los generadores de las materias primas y de los productos finales.

Deben ser objeto del establecimiento de incentivos de toda índole, en especial económicos y tributarios. Teniendo en cuenta que el análisis del impacto de un producto o proceso debe ser integral, los incentivos que se otorguen deben considerar el proceso productivo en su integridad, de modo que no se distorsionen los objetivos de la gestión ambiental que consisten no sólo el disminuir un impacto ambiental específico – postconsumo–, sino todo lo que se genera durante el proceso productivo²⁵.

²⁵ <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Apressolorgco.pdf>

7.MATERIALES Y MÉTODOS

El cultivo de *Pleurotus* spp no requiere un sustrato en composte para su desarrollo adecuado pero puede crecer en sustratos obtenidos de compostaje aeróbico (Cardona 2001). Las especies de *Pleurotus* crecen en sustratos lignocelulósicos o mezclas de ellos pre tratados térmicamente, humectados hasta el 70% y con pH ligeramente ácido.

Los materiales utilizados como sustratos deben acondicionarse de tal forma que tengan la humedad y las características físico - químicas adecuadas para el óptimo crecimiento y desarrollo del hongo comestible.

El método utilizado en ésta investigación es el Método de LELLEY. (Fermentación anaerobia).

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

El principio bioquímico de la operación se basa en que todos estos materiales al ser sumergidos en agua sufren una fermentación anaerobia por acción de las bacterias lácticas, principalmente cocos, presentes de forma natural. El proceso de fermentación comienza espontáneamente, entre los 12 y los 30°C, y la acción metabólica de las bacterias elimina los azúcares, impidiendo que posteriormente pueda tener lugar el desarrollo de hongos competidores como *Trichoderma* spp. y *Penicillium* spp., lo cual facilita la acción de las enzimas de los hongos comestibles (celulasas, polifenoloxidasas, y otras más) sobre el sustrato. (Mue y Pardo 2001).

El proceso de fermentación del sustrato es el siguiente: El primer paso en la preparación del sustrato, una vez establecida la formulación y calculadas las cantidades de materias primas necesarias, consiste en la adecuación de los materiales en cuanto al tamaño de

las partículas y su forma de almacenamiento. Es recomendable un tamaño de partícula de los sustratos entre 0,5 y 2 cm (Rodríguez 2001), debido a que con éste se han obtenido los mejores rendimientos en el cultivo.

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

Debe extenderse primero el subproducto de la formulación que esté en mayor cantidad hasta finalizar con el material de menor cantidad. La mezcla se realiza con una pala y el material debe quedar homogéneo. Luego se empaca en costales de fibra limpios, hasta las $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad. No es recomendable utilizar costales de fique porque se dificulta su limpieza después de la fermentación.

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

Terminada la fermentación deben retirarse las natas que se forman sobre la superficie del agua utilizando un cedazo o tela de filtro, hasta que el agua no contenga a simple vista sólidos en suspensión. Posteriormente, se retira el costal de la caneca y se cuelga de forma que escurra libremente durante la noche.

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

- **Lugar donde se realizó la investigación**

La investigación se realizó en el Departamento de Chocó. En la plaza de mercado de Quibdó, se realizó el estudio de caracterización de la abundancia de los materiales orgánicos desechados. Los materiales seleccionados se caracterizaron en los laboratorios del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, en Chinchiná, Caldas.

La producción de semilla se elaboró en los laboratorios de Cenicafé. La producción de hongos se realizó en una finca ubicada a las afueras del municipio de Quibdó.

- **Material biológico**

Se utilizaron 3 cepas de *Pleurotus* (*Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus pulmonarius* y *Pleurotus sajor – caju*), obtenida del cepario de hongos comestibles y medicinales del laboratorio de Recursos Naturales de Cenicafé, las cuales han sido conservadas por transferencia seriada en medios de agar nutritivo.

- **Sustratos**

Se utilizaron 4 tipos de formulaciones a saber:

Formulación 1. El sustrato obtenido en mayor abundancia en la plaza de mercado + suplementos.

Formulación 2. El sustrato obtenido en segundo orden de abundancia en la plaza de mercado + suplementos.

Formulación 3. Mezcla de los 2 sustratos con mayor abundancia en proporción 50:50 + suplementos.

Formulación 4: Mezcla de los 3 sustratos con mayor abundancia en proporción 33:33:33 + suplementos.

- **Suplementos**

Adición de compuestos de calcio como Sulfato de calcio (CaSO_4) también conocido como yeso y de Carbonato de calcio (CaCO_3), con el fin de acondicionar el pH del medio y suministrar iones de Ca^{++} , los cuales desempeñan un papel importante en la estimulación del crecimiento hifal. (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

▪ **Selección de materiales de la plaza de mercado de Quibdó.**

En la plaza de mercado del municipio de Quibdó, el proceso de recolección de desechos orgánicos se realizó en dos etapas. La etapa 1, referida a los residuos que se encuentran en las afueras de la plaza, cerca de las calles de la ciudad, cuyo proceso de recolección lo realiza la empresa de aseo de Quibdó (Aguas del Atrato), y cuya biomasa es depositada en un contenedor donde converge toda clase de residuos sólidos biodegradables y no biodegradables. La frecuencia de recolección de la basura es de 3 veces por semana. El contenedor permanece destapado al ambiente.



Figura 7. Contenedor de basura en el exterior de la plaza de mercado de Quibdó
Fuente: Autora de la Investigación

La segunda etapa del proceso de recolección de basuras, se realizó en la parte interna del establecimiento (lugar que se encuentra rodeando el río Atrato), en el puerto, allí se encontró todos los desechos que se producen y que terminan en el río, aumentando sustancialmente la contaminación de mismo.



Figura 8. Disposición Final de los Desechos (Río Atrato)
Fuente: Autora de la Investigación



Figura 9. Una de las Panorámicas del Río Atrato con los Desechos
Fuente: Autora de la Investigación

Para iniciar el proceso de caracterización de la biomasa que se encontró en la plaza de mercado en el municipio de Quibdó , se realizó recolección, selección y pesaje de la misma diariamente durante un mes, semanalmente se promedió el peso obtenido durante la semana de cada uno de los sustratos frescos encontrados en el lugar , todo esto con el objeto de estandarizar el proceso y evidenciar teniendo en cuenta el

porcentaje en peso obtenido , el sustrato que se produce en mayor proporción y así tomar esta información como punto de partida para la investigación.

Cultivo de los hongos comestibles.

Para el desarrollo de la investigación se desarrollaron las siguientes etapas:

Producción de la semilla comercial.

Preparación de las Formulaciones.

Adecuación de las Formulaciones.

Adecuación del Área de Siembra.

Etapas de Incubación.

Etapas de Fructificación y cosecha.

7.1. Producción de la semilla comercial

▪ Producción de botellas planas

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



Figura 10. Producción de semilla en botellas planas
Fuente: Material fotografico Cenicafé

▪ **Producción de semilla primaria**

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

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



Figura 11. Producción de semilla cepa-madre
Fuente: Material fotografico Cenicafé

▪ **Producción de la semilla comercial**

Para la producción de la semilla secundaria o comercial, se utilizó granos de trigo, siguiendo la metodología empleada para la producción de la semilla primaria. Una vez acondicionado el grano, se empacó 1 kg del cereal hidratado, en bolsas de polipropileno termoresistentes de 20 cm de ancho x 50 cm de largo, calibre 3, para su posterior esterilización.

Una vez esterilizado el material, las bolsas se enfriaron y se inocularon con la semilla madre a una tasa del 10% (100 gramos de semilla madre para cada bolsa de semilla de siembra), en el extremo superior de estas, se les colocó un anillo de PVC de $\frac{3}{4}$ " de

diámetro y 0,5 cm de longitud, que sirvieron para sostener un tapón de algodón y de esta forma permitir el intercambio gaseoso, necesario para el desarrollo micelial.

Se incubaron bajo oscuridad a temperatura ambiente; cuando el crecimiento micelial llegó al 95 o al 100%, se refrigeraron y luego se enviaron bien empaquetados a Quibdó para la inoculación de los sustratos.



Figura 12. Producción de semilla comercial
Fuente: Material fotografico Cenicafé

7.2. Preparación de las formulaciones

El primer paso consistió en el establecimiento de las formulaciones, teniendo en cuenta la disponibilidad suficiente y continua de la plaza de mercado. En la preparación de las formulaciones se tuvo en cuenta la caracterización de los sustratos (contenido de humedad, C y N).

Se acondicionó el tamaño de partícula de los sustratos a un valor menor a 2 cm.



Figura 13. Residuo orgánico antes de acondicionar su tamaño de partícula.
Fuente: Autora de la investigación.

Para la caracterización de los sustratos se determinaron, % de Humedad, pH, %C y % N. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de Recursos Naturales de Cenicafé y la metodología utilizada fue:

- **Determinación del Contenido de Humedad**

La metodología consistió en tomar la muestra en su estado original, determinar su peso inicial (P_i) y llevarla a secado en un horno a 105°C hasta peso constante y en ese momento determinar su peso final (P_f), y calcular por diferencias de peso el contenido de humedad, con la siguiente fórmula:

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

Se utilizó una estufa, marca Memmert.

- **Determinación del pH**

La metodología utilizada para determinar el pH consistió en diluir aproximadamente 0,5 gramos de cada de las muestras en 30 ml de agua destilada durante dos horas. Terminada las dos horas de dilución se procedió a medir el pH. Se utilizó el método

potenciométrico, empleando como sensor un electrodo combinado Referencia InLab 413SG, acoplado a un instrumento de medición portátil (Modelo Seven Go Referencia SG2-FK, Mettler Toledo).

▪ **Determinación del Contenido de Carbono**

La metodología consistió en tomar las muestras secas, determinar su peso inicial (P_i) y llevarla a calentamiento en una mufla a 750°C durante 3 horas. Culminada la calcinación se determinó el peso final (P_f), y por diferencias de pesos la cantidad de cenizas. Luego se calculó el % de materia orgánica, a partir de la siguiente fórmula:

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

Finalmente se calculó el contenido de C, mediante la siguiente fórmula:

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

▪ **Determinación de Nitrógeno Total Kjeldhal**

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

Fase 1. El peso inicial de las muestras secas fue de 0,1 g, a la cual se le agregaron 10 ml de ácido sulfúrico 95-97% el cual provee un medio oxidante y con la ayuda de $\frac{1}{4}$ de tableta catalizadora de Kjeldahl y sometimiento a una alta temperatura, permitió descomponer todas las estructuras orgánicas, dejando libre y transformando el nitrógeno en sulfato de amonio. Este proceso se llevó a cabo en la unidad de digestión Buchi.

Fase 2. El proceso a realizar a continuación fue la descomposición del sulfato ácido de amonio por medio de un exceso de álcali fuerte (NaOH 32 %) que permitió pasar de un pH ácido a un pH básico necesario para liberar el amoníaco. La captura del destilado se realizó con 20 ml de ácido bórico 4% y 20 ml de agua destilada. Finalmente se adicionaron 3 gotas de indicador mixto (Azul de metileno-Rojo de metilo).

Fase 3. El destilado se tituló con ácido clorhídrico (HCl) al 0,1N estandarizado, hasta un cambio de color traslucido.

▪ **Mezclado de los sustratos**

Para la mezcla se colocó un plástico sobre el piso y sobre éste se extendió primero el subproducto de la formulación que estuvo en mayor cantidad, y a continuación los que le seguían en peso, finalizando con el que estaba en la menor cantidad y con los suplementos.



Figura 14. Mezcla de los sustratos. Formulación 3
Fuente: La autora de la investigación

7.3. Adecuación de las formulaciones

- Se realizó sumergiendo los sustratos durante 7 días a fermentación anaerobia. Para ellos los materiales después de mezclados se empacaron en costales de fibra limpios.
- Los costales se colocaron en una caneca y se sumergieron en agua limpia utilizando 11 litros de agua/kg de sustrato seco (Rodríguez y Araque, 2006), y se colocó un sobrepeso para mantener el sustrato en inmersión.



Figura 15. Empaque de las formulaciones en costales.
Fuente: Autora de la investigación



Figura 16. Fermentación anaerobia de las formulaciones.
Fuente: Autora de la investigación

- Terminado el tiempo de fermentación se retiraron las natas que se formaron utilizando un cedazo y se colocaron a escurrir los costales, suspendidos durante la noche.
- Al día siguiente se asperjaron los costales con una solución de vanodine al 5% (solución desinfectante) y se pesó el costal, para determinar la tasa de inoculación a utilizar y se llevaron al sitio de siembra, previamente desinfectado.

7.4. Adecuación del área de siembra

- El área de siembra fue un cuarto cerrado, en donde se evitó la entrada de corrientes de aire, ya que estas arrastran contaminantes presentes en el ambiente externo que puede ocasionar potencial contaminación si llegan al material de inoculación.
- Tanto el cielo raso, como las paredes y pisos se barrieron, sacudieron, restregaron con solución jabonosa (20 gr de Detergente por litro de agua) y limpiaron con una solución desinfectante (100 ml de Límpido comercial por litro de agua). Se cubrió el área de siembra con un plástico previamente lavado y desinfectando con alcohol al 70%.
- Sobre el área de siembra se dispuso la semilla de siembra para aclimatarla a las condiciones de temperatura del cuarto. Esta labor se realizó el día anterior. Se dispuso de gorro, tapabocas, bata y guantes para ejecutar la siembra.

Protocolo de siembra

- Se llevaron los costales al área de siembra, se dispusieron en el piso y se pesaron.
- Se encendieron los mecheros.
- Se separaron 20 kilos por formulación y cepa y se esparcieron sobre el área.
- Se adicionó la semilla (1 kg de semilla) por tanda de sustrato, distribuida uniformemente.
- Se revolvió la mezcla sustrato-semilla para obtener un producto homogéneo.
- Se empacó el sustrato utilizando bolsas de polietileno transparentes, se adicionó 1 kg de sustrato por bolsa y se presionó el sustrato, a medida que se iba llenado, de tal forma que quedara compacto al final.
- Se amarraron las bolsas a ras del sustrato utilizando fibra y se realizaron orificios de un cm en forma de cruz alrededor de las bolsas.
- Se rotuló el material sembrado colocando el número de la formulación, el tipo de cepa empleado, el número de la bolsa y la fecha de siembra.
- Paso siguiente se reembolsó en bolsa negra, a manera de cubierta, amarrando levemente el extremo para darle oscuridad a la bolsa de polietileno.
- Se llevaron las bolsas a la zona de incubación.



Figura 17. Proceso de inoculación de las formulaciones.
Fuente: Autora de la investigación

7.5. Etapa de Incubación

- Las bolsas inoculadas se llevaron al cuarto de incubación.
- Cuando el material esté completamente colonizado, las bolsas se llevarán a fructificación.



Figura 18. Proceso de incubación de las formulaciones.
Fuente: Autora de la investigación

7.6. Etapa de Fructificación y cosecha

- Se realizó en un cuarto diseñado y dispuesto para tal fin.
- El tiempo de recolección de los hongos, fue cuando el borde del púleo alcanzo una ligera inclinación hacia el interior.
- Para la fecha, se realizó la recolección con una leve torsión en la base del pie.

Diseño experimental

- Se tuvo un diseño factorial 3 cepas x 4 sustratos para un total de 12 tratamientos.
- Cada tratamiento constó de 20 repeticiones (unidades experimentales). La unidad experimental estuvo conformada por una bolsa de sustrato inoculado de 1 kg de peso.

Variables a medir

Para evaluar la producción de las cepas, sobre las diferentes formulaciones se estimaron los siguientes parámetros:

- **La producción**, se definió como el peso de los hongos cosechados en fresco.
- **La eficiencia biológica media**, se definió como la media aritmética de la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato, multiplicada por cien, en las bolsas productivas.
- **El rendimiento medio**, se definió como la media aritmética de la relación entre el peso fresco de los hongos cosechados y el peso seco del sustrato, multiplicada por cien, en todas las bolsas sembradas.
- **La precocidad**, tiempo transcurrido entre la inoculación y la aparición de primordios.

La eficiencia biológica, se considera un parámetro importante en el cultivo de los hongos ya que permite determinar el potencial biológico de los sustratos para producir hongos, pues en muchos casos las pérdidas del cultivo se presentan por causas externas al sustrato, como son el mal manejo en las condiciones del cultivo, ya sea por falta de profilaxis en los mismos o por no proporcionar las condiciones adecuadas para la fructificación de los hongos (Rodríguez, 2003).

8.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Resultados de la caracterización cualitativa y cuantitativa de los residuos de la plaza de mercado.

En el desarrollo de la caracterización cualitativa y cuantitativa de los principales residuos orgánicos presentes en el exterior de la plaza de mercado de Quibdó, se encontró que la mayoría correspondían a la corteza de caña, hojas de plátano, vástago del plátano y en menor proporción se encontraron residuos provenientes de frutas en descomposición (mango, borojó, piña, lulo).



Figura 19. Principales desechos orgánicos encontrados en el exterior de la plaza de mercado de Quibdó
Fuente: Autora de la investigación



Figura 20. Desechos orgánicos de frutas encontrados en el exterior de la plaza de mercado de Quibdó
Fuente: Autora de la investigación

Los principales desechos encontrados en el interior de la plaza de mercado, fueron los residuos de hojas de plátano, así como también de caña de azúcar, hojas de plátano secas y tallos de los mismos.



Figura 21. Desechos del Plátano. Interior de la plaza de mercado
Fuente: Autora de la investigación



Figura 22. Depósito de Desechos Varios. Interior de la plaza de mercado
Fuente: Autora de la investigación.

En la caracterización cuantitativa se evidencian, en promedio, después de 4 caracterizaciones semanales, realizando promedios diarios, los siguientes resultados:

Tabla 6. Caracterización Cuantitativa de los residuos orgánicos de la plaza de mercado

RESIDUO	Peso seco (kg/día)	(%)
Corteza de caña	8,10	37,7
Vástago de plátano	5,10	23,7
Hojas de plátano	4,9	22,8
Otros	3,4	15,8
Total	21,5	100

Fuente: Autora de la investigación.

Como se puede evidenciar en los resultados obtenidos, la mayor proporción de los residuos de la plaza de mercado fueron los residuos de la caña, seguidos de los residuos del plátano (Vástago y hojas).

Para iniciar el proceso de producción de hongos comestibles, se debió realizar un control de la humedad de los subproductos obtenidos en mayor proporción: residuos de caña, residuos de plátano y residuos de frutas.

Para ello el material recolectado se sometió a procesos de secado.



Figura 23. . Hojas de plátano antes y después del proceso de secado.
Fuente: Autora de la investigación

8.2. Resultados de la caracterización de laboratorio de los residuos de la plaza de mercado.

Tabla 7. Resultados de la determinación de humedad

Nombre de la muestra	Repetición	Humedad fresco (%)	Humedad deshidratado (%)
Residuo de caña	1	50,20	27,50
	2	49,30	28,90
	3	48,70	29,15
	Promedio	49,40	28,52
Residuo de plátano	1	83,70	43,50
	2	84,25	40,30
	3	82,45	44,10
	Promedio	83,47%	42,63
Residuo de frutas	1	89,75	50,40
	2	90,50	48,70
	3	93,20	47,20
	Promedio	91,15	48,77

Fuente: Autora de la investigación

Como se puede apreciar en los resultados condensados en la Tabla 5, los residuos de frutas mostraron los mayores contenidos promedio de humedad, en estado fresco (91,15%), seguido de los residuos de plátano (83,47%), mientras que el contenido de humedad de los residuos de caña, representó entre el 54 y el 59% de la humedad presentada por los otros 2 residuos. Los procesos de secado permitieron disminuir el contenido de humedad de los residuos entre el 42 y el 49%.

Tabla 8. Resultados de la determinación de pH

Nombre de la muestra	Repetición	pH
Residuo de caña	1	4,05
	2	4,10
	3	4,25
	Promedio	4,13
Residuo de plátano	1	4,55
	2	4,40
	3	4,65
	Promedio	4,53
Residuo de frutas	1	3,80
	2	3,95
	3	3,75
	Promedio	3,83

Fuente: Autora de la investigación

Como se puede apreciar en los resultados condensados en la Tabla 6, los residuos de frutas mostraron los menores valores de pH (3,83), debido a los procesos de fermentación de sus azúcares, durante el proceso de secado, seguido de los residuos de caña (4,13), también influenciado por los contenidos de azúcares, siendo los residuos de plátano los que mostraron los mayores valores de pH (4,53), relacionados con su menor contenido de azúcares reductores.

Tabla 9. Resultados de la determinación de % C

Nombre de la muestra	Repetición	% C
Residuo de caña	1	50,46
	2	50,75
	3	50,92
	Promedio	50,71
Residuo de plátano	1	48,72
	2	48,49
	3	48,20
	Promedio	48,47
Residuo de frutas	1	56,96
	2	56,84
	3	56,67
	Promedio	56,82

Fuente Autora de la investigación

De los resultados condensados en la Tabla 7, se puede apreciar que los mayores contenidos de C, se encuentran para los residuos de frutas (56,82%), seguido de la caña (50,71%) y los residuos de plátano (48,47%), guardando relación con los menores valores de pH e influenciados por la composición química de los residuos y sus contenidos de carbohidratos.

Tabla 10. Resultados de la determinación de % N

Nombre de la muestra	Repetición	% N
Residuo de caña	1	0,29
	2	0,25
	3	0,28
	Promedio	0,27
Residuo de plátano	1	1,20
	2	1,12
	3	1,17
	Promedio	1,16
Residuo de frutas	1	0,12
	2	0,10
	3	0,12
	Promedio	0,11

Fuente: Autora de la investigación

De los resultados condensados en la Tabla 8, se puede apreciar que los mayores contenidos de N, se encuentran para los residuos de plátano (1,16%), mientras los contenidos de N en los residuos de caña y de frutas, fueron de 0,27 y 0,11%, respectivamente.

Tabla 11. Resultados de la determinación de C/N

Nombre de la muestra	Repetición	C/N
Residuo de caña	1	174
	2	203
	3	182
	Promedio	186
Residuo de plátano	1	41
	2	43
	3	41
	Promedio	42
Residuo de frutas	1	475
	2	568
	3	472
	Promedio	505

Fuente: Autora de la investigación

En la Tabla 11 se presentan los resultados de la relación C/N para los diferentes residuos, siendo el menor valor para los residuos de plátano (42), seguido de los residuos de caña (186) y de los residuos de frutas (505).

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

Estos resultados permiten cumplir con el primer objetivo del trabajo de investigación: *“Caracterizar en variedad y abundancia los desechos orgánicos vegetales, procedentes de la plaza de mercado de Quibdó y seleccionar, de acuerdo con su composición química, cuales se pueden utilizar en el cultivo de hongos comestibles”*.

A continuación se desarrolla el segundo objetivo específico del presente estudio: *“Evaluar el impacto de la contaminación ambiental de la plaza de mercado en la ciudad de Quibdó, debido a la abundancia de basuras que se encuentran en el entorno”*.

Como se logró evidenciar en el estudio, el río Atrato se convierte en el sumidero de los residuos orgánicos de la plaza de mercado.

La contaminación que se descarga, al río Atrato, diariamente, por el no aprovechamiento de los residuos orgánicos sería:

Contaminación por residuos de caña + residuos de plátano + residuos de frutas:

Contenido de C = 8,10 kg secos residuos de caña/día * 0,5071 kg C/kg seco + 10,0 kg secos residuos de plátano/día * 0,4847 kg C/kg seco + 3,40 kg secos residuos de frutas/día * 0,5682 kg C/kg secos = 10,89 kg/día.

kmoles de C/día = 10,89/12 = 0,91.

La reacción de oxidación es $C + O_2 = CO_2$

kmoles de O_2 /día = 0,91.

g de O_2 /d = 29030 g

DQO/día = 29030

Lo anterior permite demostrar que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) generada por los residuos orgánicos de la plaza de mercado que no son aprovechados y que se disponen en el río Atrato es de 29030 g/día, equivalente a la contaminación que generarían, en ese mismo día, en excretas y orina, una población de 290 personas. La contaminación unitaria, en excretas y orina, producida diariamente por un habitante corresponde en promedio a 100 g de DQO (Veenstra, 1995).

8.3. Resultados de las formulaciones preparadas

Con base en la disponibilidad de los sustratos, la composición de las formulaciones y su caracterización se presentan en las tablas 10 y 11.

Tabla 12. Composición de las formulaciones

Formulación	Residuos Plátano	Residuos caña	Residuos Frutas	Carbonato	Yeso
1	0%	98%	0%	1%	1%
2	98%	0%	0%	1%	1%
3	49%	49%	0%	1%	1%
4	32,7%	32,7%	32,7%	1%	1%

Fuente: Autora de la investigación

Tabla 13. Materiales utilizados para preparar 75 kg de cada una de las formulaciones.

Formulación	Residuos Plátano	Residuos caña	Residuos Frutas	Carbonato	Yeso	C/N	Agua (L)
1	0	31,0 kg	0	225 g	225 g	186	250
2	38,5 kg	0	0	225 g	225 g	42	250
3	19,0 kg	15,5 kg	0	225 g	225 g	114	250
4	12,8 kg	10,3 kg	14,3 kg	225 g	225 g	242	250

Fuente: Autora de la investigación

En la figura 24 se muestra el resultado de la preparación de la formulación 3.



Figura 24. Formulación a base de residuos de plátano y caña de azúcar

Fuente: Autora de la investigación

8.4. Resultados de las formulaciones al final del proceso de fermentación anaeróbica.

A los 7 días de iniciada la fermentación, se retiraron las formulaciones y se caracterizaron en las variables pH y % de humedad. Los resultados se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de la caracterización de las formulaciones después de la fermentación.

Formulación	Réplica	pH	%Humedad
1	1	6,70	78,62
	2	6,25	80,90
	3	6,45	79,35
	Promedio	6,47	79,62
2	1	8,12	79,89
	2	7,91	81,05
	3	8,04	82,20
	Promedio	8,02	81,05
3	1	7,74	81,55
	2	7,66	79,40
	3	7,78	78,65
	Promedio	7,73	79,87
4	1	5,70	85,35
	2	5,31	85,80
	3	5,54	83,40
	Promedio	5,52	84,85

Fuente: Autora de la investigación

De acuerdo con Chang, citado por Rodríguez y Jaramillo, 2005, las relaciones C/N, recomendadas para las cepas de *Pleurotus* spp deben estar entre 30 y 80, y el pH entre 7 y 9.

De acuerdo con lo anterior, las formulaciones más apropiadas para el crecimiento de *Pleurotus*, serían las formulaciones 2 y 3.

8.5. Resultados del cultivo

Todas las formulaciones se sembraron con una tasa de inoculación del 5%. En la Tablas 13, 14 y 15 se presentan los resultados para la cepas *P. pulmonarius*, *P. ostreatus* y *P. sajor caju* en las diferentes formulaciones.

Tabla 15. Resultados del cultivo de *Pleurotus pulmonarius*

Bolsa	Formulación			
	1	2	3	4
1	159,2	48,5	147,1	16,4
2	174,3	74,3	236,5	10,5
3	0	0	121,6	28,3
4	185,2	36,5	108,6	0
5	97,8	45,9	222,2	0
6	125,6	191,2	187,6	0
7	144,8	145,6	142,4	0
8	111,1	177,6	145,3	15,4
9	0	152,5	95,3	10,2
10	106,8	146,4	172,4	32,3
11	114,1	102,3	188,8	0
12	85,9	170,4	182,6	17,8
13	0	98,5	164,8	0
14	174,5	0	155,6	62,8
15	155,6	45,9	133,5	0
16	156,7	0	112,5	39,8
17	82,8	0	92,4	18,5
18	180,6	133,5	172,8	71,2
19	77,8	0	115,3	0
20	65,9	28,9	114,1	0
Promedio (g)	109,94	79,90	150,57	16,16
Rend medio (%)	53,94	42,16	74,80	10,67
EB media (%)	63,46	56,22	74,80	19,39
Precocidad (día)	26	26	24	40

Fuente: Autora de la investigación

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 15, los mejores rendimientos medios encontrados con la cepa de *Pleurotus pulmonarius* fueron para la formulación 3, que estaba conformada por la mezcla entre residuos de caña de azúcar y residuos de plátano, con un valor del 74,80%, seguido de la formulación 1, a base de residuos de caña, con un valor de 53,94% y de la formulación 2, a base de residuos de plátano con un valor de 42,16%. La alta humedad y bajo valor de pH de la mezcla de residuos de plátano, caña y frutas, además de presentar una relación C/N alta (242), no fue un sustrato adecuado para el cultivo de *P. pumonarius*, lo que se evidencia en su bajo rendimiento, 16,16%.

En la ilustración 25 se muestran los primordios de *P. pulmonarius*, creciendo sobre la formulación 3.



Figura 25. Crecimiento de *P. pulmonarius* sobre la formulación 3.
Material fotográfico de Cenicafé

En la ilustración 26 se presenta el aspecto de algunas de las unidades experimentales de la formulación 4. La alta humedad y el bajo pH favorecieron el establecimiento de hongos del género *Coprinus*.

Dado que la eficiencia biológica muestra el potencial de la formulación para producir hongos, pues en muchos casos las pérdidas del cultivo se presentan por causas externas al sustrato, como son el mal manejo en las condiciones del cultivo, ya sea por falta de profilaxis en los mismos o por no proporcionar las condiciones adecuadas para la fructificación de los hongos y que este parámetro se calcula, considerando únicamente las unidades experimentales que mostraron producción de hongos, se calculó este parámetro, para determinar el comportamiento de *P. pulmonarius*.



Figura 26. Contaminación de la formulación 4 con *Coprinus* spp
Fuente: Autora de la investigación

Los valores de eficiencia biológica mostraron valores de 74,80% para la formulación 3 (mezcla de residuos de plátano y caña), de 63,46% para la formulación 1 (residuos de caña) y de 56,22% para la formulación 2 (residuos de plátano). El potencial de la formulación 4, sigue siendo bajo, pues el valor de eficiencia biológica, fue de sólo 19,39%.

Rodríguez y Jaramillo, 2005, expresan que para el establecimiento de cultivos comerciales, los rendimientos del cultivo deben superar el 50%.

La precocidad de *P. pulmonarius*, fue de 24 días para la formulación 3, de 26 días para las formulaciones 1 y 2 y de 40 días para la formulación 4.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 16, los mejores rendimientos medios encontrados con la cepa de *Pleurotus ostreatus* fueron para la formulación 3, que estaba conformada por la mezcla entre residuos de caña de azúcar y residuos de plátano, con un valor del 45,12%, seguido de la formulación 1, a base de residuos de caña, con un valor de 33,41% y de la formulación 2, a base de residuos de plátano con un valor de 25,34%. De nuevo, las características de la formulación 4, no resultó ser un sustrato adecuado para el cultivo de *P. ostreatus* lo que se evidencia en su bajo rendimiento, 4,96%.

Tabla 16. Resultados del cultivo de *Pleurotus ostreatus*

Bolsa	Formulación			
	1	2	3	4
1	115,8	78,5	127,4	0
2	112,3	64,8	175,2	0
3	98,5	105,7	145,4	0
4	0	124,2	0	12,8
5	0	63,5	0	15,2
6	45,3	54,6	132,4	10,3
7	77,6	0	98,8	21,7
8	74,3	63,2	78,8	0
9	65,2	87,1	69,4	0
10	49,5	0	48,9	0
11	107,3	0	132,4	0
12	124,5	45,2	158,7	0
13	145,2	19,6	111,4	0
14	64,2	36,8	89,8	0
15	0	51,2	78,7	18,7
16	0	45,4	94,3	24,5
17	56,8	19,8	78,2	34,7
18	77,2	0	77,5	12,4
19	48,4	22,4	54,6	0
20	99,7	78,3	64,5	0
Promedio (g)	68,09	48,02	90,82	7,52
Rend medio (%)	33,41	25,34	45,12	4,96
EB media (%)	41,76	31,67	50,13	12,40
Precocidad (día)	28	32	28	44

Fuente: Autora de la investigación

En la ilustración 27 se muestra carpóforos de *P. ostreatus*, creciendo sobre la formulación 3.



Figura 27. Crecimiento de *P. ostreatus* sobre la formulación 3.

Fuente: Material fotográfico de Cenicafé

Los valores de eficiencia biológica mostraron valores de 50,13% para la formulación 3 (mezcla de residuos de plátano y caña), de 41,76% para la formulación 1 (residuos de caña) y de 31,67% para la formulación 2 (residuos de plátano). El potencial de la formulación 4, sigue siendo bajo, pues el valor de eficiencia biológica, fue de sólo 12,40%.

La precocidad de *P. ostreatus*, fue de 28 días para las formulación 1 y 3, de 32 días para las formulaciones 2 y de 44 días para la formulación 4.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 17, los mejores rendimientos medios encontrados con la cepa de *Pleurotus sajor caju* fueron para la formulación 3, que estaba conformada por la mezcla entre residuos de caña de azúcar y residuos de plátano, con un valor del 87,83%, seguido de la formulación 1, a base de residuos de caña, con un valor de 66,56% y de la formulación 2, a base de residuos de plátano con un valor de 47,41%. De nuevo, las características de la formulación 4, no resultó ser un sustrato adecuado para el cultivo de *P. sajor caju* lo que se evidencia en su bajo rendimiento, 26,40%.

Tabla 17. Resultados del cultivo de *Pleurotus sajor caju*

Bolsa	Formulación			
	1	2	3	4
1	124,5	94,5	231,4	16,1
2	116,6	47,8	222,7	14,2
3	182,7	78,3	199,8	13,1
4	131,6	0	202,4	19,8
5	0	0	199,2	82,4
6	128,2	0	103,4	77,5
7	177,4	162,4	127,5	0
8	139,3	146,6	179,6	0
9	0	98,8	245,3	37,8
10	182,8	93,6	215,8	85,4
11	144,5	88,7	185,4	0
12	177,3	75,9	115,7	29,8
13	171,4	141,4	134,2	78,5
14	156,6	133,8	189,1	83,5
15	118,8	87,4	142,6	47,2
16	129,4	93,3	135,7	0
17	137,6	50,9	123,4	43,2
18	152,4	114,4	179,0	54,5
19	197,4	136,5	214,2	39,8
20	144,3	152,5	189,7	77,1
Promedio (g)	135,64	89,84	176,81	40,00
Rend medio (%)	66,56	47,41	87,83	26,40
EB media (%)	73,95	55,78	87,83	33,00
Precocidad (día)	26	26	22	38

Fuente: Autora de la investigación

En la ilustración 29 se muestra carpóforos de *P. sajor caju*, creciendo sobre la formulación 3.



Figura 28. Crecimiento de *P. sajor caju* sobre la formulación 3.
Fuente: Material fotográfico de Cenicafé

Los valores de eficiencia biológica mostraron valores de 87,83% para la formulación 3 (mezcla de residuos de plátano y caña), de 73,95% para la formulación 1 (residuos de caña) y de 55,78% para la formulación 2 (residuos de plátano). El potencial de la formulación 4, sigue siendo bajo, pues el valor de eficiencia biológica, fue de 33,00%.

La precocidad de *P. sajor caju*, fue de 22 días para las formulación 3, de 26 días para las formulaciones 1 y 2 y de 38 días para la formulación 4.

En los Gráficos 1 y 2 se comparan los rendimientos medios y las eficiencias biológicas medias para las 3 cepas evaluadas en las diferentes formulaciones.

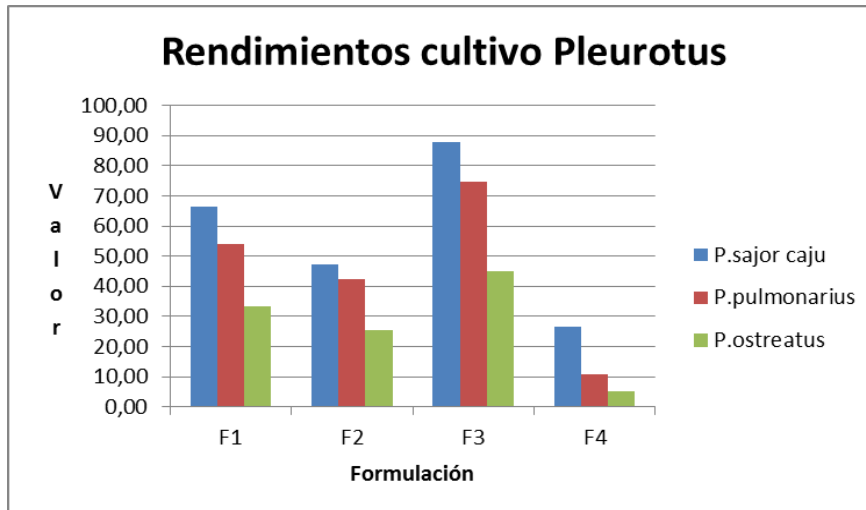


Gráfico 1. Resultados de los Rendimientos Medios
Fuente: Autora de la Investigación

De acuerdo con los resultados presentados en el Gráfico 1, los mejores rendimientos medios, en el presente estudio, se alcanzaron con la cepa de *Pleurotus sajor caju*, cultivada en la formulación 3 (mezclas de residuos de plátano y caña), con un valor del 87,83%, seguida de la cepa de *Pleurotus pulmonarius*, cultivada sobre esta misma formulación, con un valor de 74,80%. De igual manera, el cultivo de estas mismas cepas sobre la formulación 1 (residuos de caña) permitieron alcanzar valores del 66,56% y del 53,94%, para *P. sajor caju* y *P. pulmonarius*, respectivamente. En estos 4 tratamientos se alcanzaron valores de rendimiento medio superiores al 50%, que permitirían la explotación comercial de estos cultivos, de acuerdo a lo referenciado por Rodríguez y Jaramillo; 2005.

En el presente estudio se corrobora lo expresado por Rodríguez y Jaramillo, 2005, que expresan que es mejor cultivar los hongos del género *Pleurotus* sobre mezclas de subproductos, ya que estas mejoran las condiciones físicas del sustrato y por lo tanto los rendimientos del cultivo se favorecen.

La diferencia que se presentó en los rendimientos medios entre cepas, para una misma formulación, se explica por lo expresado por Rodríguez y Jaramillo, 2005 “Para un mismo tipo de formulación los rendimientos medios de las diferentes cepas cambian, dado que ellas tienen diferente actividad enzimática”.

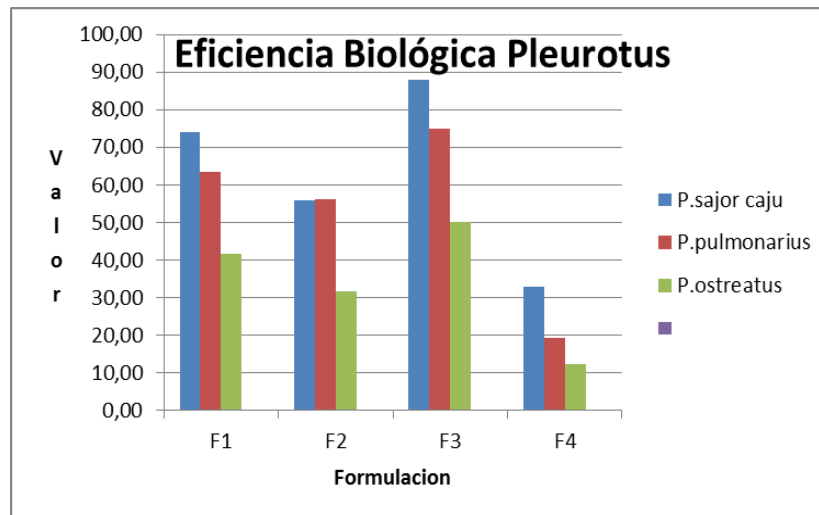


Gráfico 2. Eficiencias Biológicas Medias
Fuente: La Autora de la Investigación

De acuerdo con los resultados presentados en el gráfico 2, las mejores eficiencias biológicas medias, en el presente estudio, se alcanzaron con la cepa de *Pleurotus sajor caju*, cultivada en la formulación 3 (mezclas de residuos de plátano y caña), con un valor del 87,83%, seguida de la cepa de *Pleurotus pulmonarius*, cultivada sobre esta misma formulación, con un valor del 74,80% y de *Pleurotus ostreatus*, con un valor del 50,13%. De igual manera, el cultivo de *P. sajor caju* y *P. pulmonarius* sobre la formulación 1 (residuos de caña) permitieron alcanzar valores del 63,46% y del 73,95%, respectivamente y el cultivo de *P. sajor caju* y *P. pulmonarius* sobre la formulación 2 (residuos de plátano) permitieron alcanzar valores del 56,22% y del 55,78%, respectivamente. En estos 7 tratamientos se alcanzaron valores de eficiencia biológica media superiores al 50%, que permitirían la explotación comercial de estos cultivos, de acuerdo a lo referenciado por Rodríguez y Jaramillo; 2005.

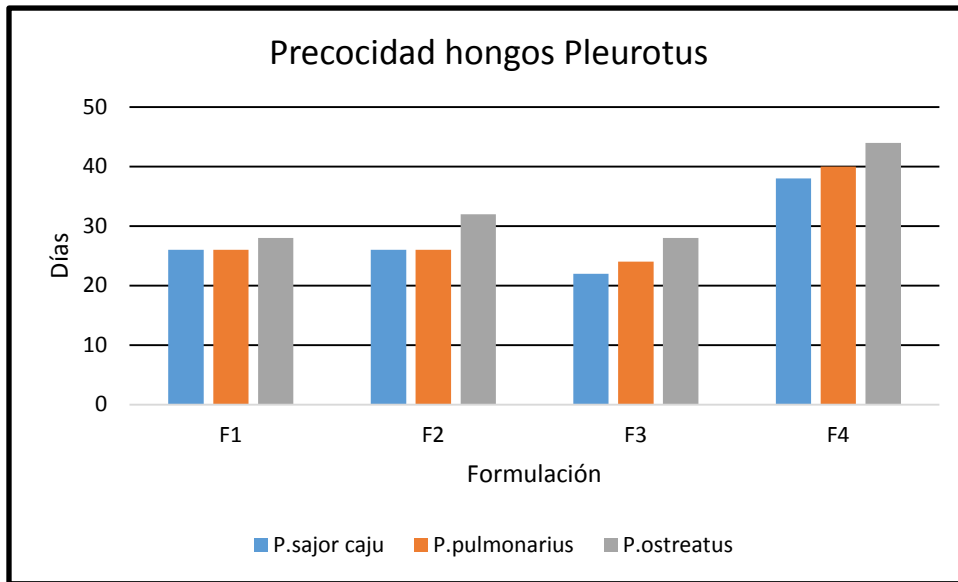


Gráfico 3. Precocidad
Fuente: Autora de la Investigación

En el gráfico 3 se presentan las precocidades de las 3 cepas de *Pleurotus*, en las diferentes formulaciones.

Los resultados permiten inferir que la formulación 3 fue la que permitió los mejores rendimientos y a su vez la mayor precocidad de las cepas, siendo *P. sajor caju* con 22 días la más precoz, seguida de *P. pulmonarius* con 24 días y de *P. ostreatus* con 28 días.

Con los resultados anteriores se da cumplimiento al objetivo específico número 3 “Evaluar los rendimientos medios, la eficiencia biológica media y la precocidad de 3 especies de *Pleurotus* (*P. pulmonarius*, *P. sajor caju* y *P. ostreatus*) sobre 4 formulaciones de sustrato elaborado a base de los residuos vegetales seleccionados”.

De acuerdo con los resultados encontrados en la presente investigación, un biosistema integrado que utilice hongos del género *Pleurotus* (especies *P. pulmonarius* y *P. sajor caju*) para el aprovechamiento de los residuos de la plaza de mercado, es el apropiado, dado que estos hongos permitieron alcanzar rendimientos medios (utilizando mezclas de residuos de plátano y caña), del orden de 74,80% y 87,83%, respectivamente.

De esta forma se alcanzó el objetivo específico 4: “*Determinar la especie de hongo y la formulación de sustrato que permiten obtener los mejores resultados dentro de un biosistema integrado de aprovechamiento de los residuos vegetales de la plaza de mercado de Quibdó*”.

De igual manera, los resultados de la investigación permitieron aceptar, la hipótesis de trabajo “*Un biosistema integrado que involucre el cultivo del hongo *Pleurotus sajor caju*, sobre mezclas de sustratos es el que permite obtener los mejores rendimientos de proceso para el aprovechamiento de los residuos de la plaza de mercado de Quibdó* ” y responder las 2 preguntas de investigación. 1. *¿Qué desechos orgánicos vegetales procedentes de la plaza de mercado de Quibdó, pueden seleccionarse en el cultivo de hongos comestibles de la especie *Pleurotus*?* y 2. *¿Qué especie de hongo comestible del género *Pleurotus* permite obtener los mejores rendimientos de proceso en un biosistema integrado de aprovechamiento de Los residuos vegetales provenientes de la plaza de mercado del municipio de Quibdó?*

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. CONCLUSIONES:

1. Los principales desechos encontrados en la plaza de mercado de Quibdó, fueron los residuos de hojas y vástago de plátano, representando en base seca el 46,5%, los residuos de caña de azúcar, representando el 37,7% y los residuos de frutas, representando el 15,8%.
2. La relación C/N, importante en el cultivo de los hongos del género *Pleurotus* fue de 42 para los residuos de plátano, 186 para los residuos de caña y 505 para los residuos de frutas, lo que los hace aptos para la producción de este tipo de hongos. Zadrazil, 1978, establece rangos, para este tipo de cultivos, entre 50 y 500.
3. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) generada por los residuos orgánicos de la plaza de mercado que no son aprovechados y que se disponen en el río Atrato es de 29030 g/día, equivalente a la contaminación que generaría en ese mismo día, en excretas y orina, una población de 290 personas.
4. Los mejores rendimientos medios, en el presente estudio, se alcanzaron con la cepa de *Pleurotus sajor caju*, cultivada en la formulación 3 (mezclas de residuos de plátano y caña), con un valor del 87,83%, seguida de la cepa de *Pleurotus pulmonarius*, cultivada sobre esta misma formulación, con un valor de 74,80%. De igual manera, el cultivo de estas mismas cepas sobre la formulación 1 (residuos de caña) permitieron alcanzar valores del 66,56% y del 53,94%, para *P. sajor caju* y *P. pulmonarius*, respectivamente. En estos 4 tratamientos se alcanzaron valores de rendimiento medio superiores al 50%, que permitirían la explotación comercial de estos cultivos, de acuerdo a lo referenciado por Rodríguez y Jaramillo; 2005.
5. Las mejores eficiencias biológicas medias, en el presente estudio, se alcanzaron con la cepa de *Pleurotus sajor caju*, cultivada en la formulación 3 (mezclas de residuos de plátano y caña), con un valor del 87,83%, seguida de la cepa de *Pleurotus*

pulmonarius, cultivada sobre esta misma formulación, con un valor del 74,80% y de *Pleurotus ostreatus*, con un valor del 50,13%. De igual manera, el cultivo de *P. sajor caju* y *P. pulmonarius* sobre la formulación 1 (residuos de caña) permitieron alcanzar valores del 63,46% y del 73,95%, respectivamente y el cultivo de *P. sajor caju* y *P. pulmonarius* sobre la formulación 2 (residuos de plátano) permitieron alcanzar valores del 56,22% y del 55,78%, respectivamente. En estos 7 tratamientos se alcanzaron valores de eficiencia biológica media superiores al 50%, que permitirían la explotación comercial de estos cultivos.

6. La alta humedad y bajo valor de pH de la mezcla de residuos de plátano, caña y frutas, además de presentar una relación C/N alta (242), no fue un sustrato adecuado para el cultivo de las diferentes cepas de *Pleurotus*, lo que se evidencia en su bajo rendimiento.
7. En el presente estudio se corrobora lo expresado por Rodríguez y Jaramillo, 2005, que expresan que es mejor cultivar los hongos del género *Pleurotus* sobre mezclas de subproductos, ya que estas mejoran las condiciones físicas del sustrato y por lo tanto los rendimientos del cultivo se favorecen.

9.2. RECOMENDACIÓN

Se recomienda, continuar los estudios realizando caracterización a los carpóforos obtenidos y realizando un aprovechamiento del sustrato agotado, en la alimentación animal y en la producción de abonos orgánicos, con el fin de contribuir a generar un biosistema integrado de aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado de Quibdó.

BIBLIOGRAFÍA

Bobek, P., et al. 1998. Dose and time dependent hypocholesterolemic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rats. *Nutrition* 14:282-286

Cardona U., L. F. Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* N°. 16:99-119. 2001.

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

Chang ST. World production of cultivated edible and medicinal mushrooms in 1997 with emphasis on *Lentinus edodes* (Berk). Sing in China. *Inter J Med Mush*. 1997; 1:291-300.

Chang, S.T. V P.G. Miles, 1989. *Edible mushrooms and their cultivation*. CRC Press. Boca aton.

CHANG, S.T. Y P.G. Miles, 1984. A new look at cultivated mushrooms. *Bioscience* 34 : 358-362.

Chang, S.T. Y W.A. Hayes (Eds.), 1978. *The Biology and Cultivation of edible mushrooms*. Academic Press, Nueva ork.

Chang, S.T., 1980. Mushrooms as human food. *Bioscience* 30 : 399-401.

Crisan, E.V. Y A. Sands, 1978. Nutritional Value. In: S.T. Chang y WA. Hayes (eds). *The Biology and Cultivation of edible mushrooms*. Academic Press, Nueva York.

Eger, G., 1978. Biology and Breeding of *pleurotus*. In: S. T Chang y W. A. Hayes (eds), *The Biology and Cultivation of Edible Mushroom*. Academic press, Nueva York.

Gunde-Cimerman,. N. 1999. Medicinal value of the genus *Pleurotus* (Fr.) P. Karst. (*Agaricales* s.l., *Basidiomycetes*). *Int J of Med Mushrooms*. Vol. 1:69-80

Guzmán, G. G Mata, D Salmones. C Soto-Velazco Y L. Guzmán. Dávalos. 1993. *El cultivo de los hongos comestibles. Con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales*. Instituto Politécnico Nacional. México.

Isaza H., J. D. (1996). *Manual de laboratorio de biodigestión anaeróbica y caracterización de aguas residuales*. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. p.v.

Macaya, L. A. 1988. Cultivo de *pleurotus ostreatus* v especies afines (Fungi: Pleurotaceae) sobre medios naturales semi-estériles Rev. Biol Trop 36: 255-260.

Miles, P. G.; Chang, S. T. Biología de las setas. Fundamentos básicos y acontecimientos actuales. World Scientific. 1 ed. en español. 1999. Pág. 206.

Muez, M. A.; Pardo, J. La preparación del sustrato. In: Sanchez, J. E.; Royse, D. J. Eds. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. México. Editorial Limusa, 2001. Pág. 157-186.

Rajarathnam, S.; Bano Z. Biological Utilization of Edible Fruiting Fungi. In: ARORA, D.; Mukerji, K.; Math, E. (Eds). Handbook of Applied Mycology. Foods and Feeds. Volume 3. Marcel Dekker, Inc. New York. 1991.

Rodríguez V., N. (2003). Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en el cultivo e industrialización del café para la producción de hongos comestibles y medicinales. Valencia (España). Universidad Politécnica de Valencia. 140 p.

Rodríguez V., N. (2003). Investigación básica sobre el cultivo de hongos tropicales en residuos agroindustriales de la zona cafetera colombiana. Informe final. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Química Industrial. 220 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Esterización y siembra de hongos comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 11 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Incubación de hongos comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 11 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Fructificación de hongos comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 11 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Manejo postcosecha de hongos comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 11 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Producción de semilla comercial de hongos comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 19 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Preparación de sustratos

para hongos comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 15 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Mantenimiento de cepas de hongos comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 15 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Identificación de los hongos contaminantes más frecuentes en el cultivo de setas comestibles y medicinales. Protocolo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC, 2006. 11 p.

Rodríguez V., N.; Araque F., M.L.; Perdomo P., F. (2006). Producción de los hongos comestibles orellanas y shiitake. Chinchiná (Colombia), Cenicafé-SENA-Asofungicol-FNC. 32 p.

Rodríguez V. N.; Jaramillo L., C. (2005). Cultivo de hongos medicinales sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. Boletín Técnico Cenicafé N° 28. Chinchiná. Caldas. 72 p.

Rodríguez V. N.; Jaramillo L., C. (2005). Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* en residuos agrícolas de la zona cafetera. Boletín Técnico Cenicafé N° 27. Chinchiná. Caldas. 56p.

Rodríguez V., N.; Zuluaga, J. (1994). Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* en pulpa de café. Revista Cenicafé (Colombia) 45(3):81-92.

Sánchez, J. E.; Royse, D. J. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. México, Editorial Limusa, 2001. 290 p.

Soto Velazco, Conrado Y Armando Arias. El cultivo de las setas (*Pleurotus* spp.): una tecnología de producción de alimentos. Ediciones Cuéllar, 2004.

Universidad Nacional de Colombia. Unidad de Medios de Comunicación – Unimedios. Agencia de Noticias. Producción de Hongos: Negocio Rentable para Agricultores.

<http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/nc/ndetalle/cat/video/pag/8/article/produccion-de-hongos-negocio-rentable-para-agricultores.html>

Vázquez Pérez, Juan Celestino. Manual para la Producción de Hongos Comestibles (*Pleurotus* *Ostreatus*).

http://autonomiaautogestion.unach.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=91&Itemid=146.

Veenstra, S. (1995) Recovery of biogas from landfill sites. IHE Delft. In: Curso taller Internacional sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales. Santiago de Cali (Colombia). Memorias.

Yang J, Lin H, Mau J. Non-volatile taste composition of several comercial mushrooms. *Food Chem* 2001; 72: 465-471.

Zadrazil, F. Cultivation of *Pleurotus*. In: CHANG, S. T. and W. A. Hayes (Eds). *The biology and cultivation of edible mushrooms*. New York; Academic Press, 1978.

Zadrazil, F. The ecology and industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *P. florida*, *P. cornucopiae* and *P. eryngii*. *Mush Sc* 1974; 9:621-652.