

ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS POR COLONIZACIÓN FÚNGICA DE *Pleurotus Ostreatus*



Universidad
del Cauca

YINA PAOLA CERÓN MENESES
KEVIN HERNÁN CASTILLO ORDOÑEZ

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2019

ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS POR COLONIZACIÓN FÚNGICA DE *Pleurotus Ostreatus*

YINA PAOLA CERÓN MENESES
KEVIN HERNÁN CASTILLO ORDOÑEZ

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agroindustrial

Director
PH. D. JOSÉ FERNANDO SOLANILLA DUQUE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2019

Nota de aceptación

El director y los evaluadores han leído este documento, escucharon la sustentación del mismo y lo encuentran satisfactorio.

PH. D JOSÉ FERNANDO SOLANILLA
DUQUE
Director

JHON JAIRO PALECHOR TROCHEZ
Presidente de jurado

JUAN PABLO CASTAÑEDA
Jurado

Popayán, 05 de noviembre de 2019

DEDICATORIA

A mis padres Silvio Cerón y Deyanira Meneses por haber tenido el valor de traerme al mundo para formarme con amor y apoyo incondicional. A mis hermanos Robinson Cerón y Katherine Cerón por confiar en mí y ser parte del motor que me impulsa a sobresalir. A Yeleman Valbuena por su apoyo emocional y disciplinario.

Yina Paola Cerón Meneses

mis padres Hildefonso Castillo y Edilia Ordoñez por darme la vida y formarme en valores, por desde que era un niño tenerme paciencia y guiarme, por comprender mis errores y celebrar mis triunfos, pero más que nada por creer en mí y apoyarme incondicionalmente.

Kevin Hernán Castillo Ordoñez

AGRADECIMIENTOS

En principio, agradecemos a Dios por darnos la vida y permitirnos llenarla de sapiencia mediante experiencias emocionales, espirituales y académicas que nos han formado creando las personas que hoy somos.

A nuestras familias por brindarnos el apoyo fraternal, anímico y económico que ha hecho posible que lleguemos hasta aquí.

A la Universidad del Cauca por recibirnos en su seno, a nuestros maestros por la perseverancia en la difícil labor de enseñarnos, a nuestros compañeros por compartir estos años de arduo trabajo, diversión y risas.

Al grupo de investigación CYTBIA por acogernos dentro de su equipo de trabajo, por su apoyo intelectual y por permitirnos el uso de sus instalaciones y equipos para nuestra investigación.

Al personal de las plantas pilotos de la universidad por su paciencia y su colaboración.

Yina Paola Cerón Meneses
Kevin Hernán Castillo Ordoñez

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO REFERENCIAL	15
1.1 LOCALIZACIÓN	15
1.2 MARCO TEÓRICO	15
1.2.1 Material compuesto	15
1.2.1.1 Refuerzos para materiales compuestos	15
1.2.1.1 Matriz para materiales compuestos	15
1.2.2 Residuos lignocelulósicos	16
1.2.3 Celulosa	16
1.2.4 Hemicelulosa	17
1.2.5 Lignina.	17
1.2.6 Fibra de coco	17
1.2.7 Bagazo de fique	17
1.2.8 Bagazo de caña	18
1.2.9 Cinética de crecimiento	18
1.2.10 Pleurotus Ostreatus	18
1.2.11 Pruebas mecánicas y físicas de materiales compuestos	19
2. METODOLOGÍA	20
2.1 ADECUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS	20

2.1.1 Molienda	20
2.1.2 Tamizado	21
2.1.3 Relación de aspecto	22
2.1.4 pH	23
2.1.5 Sólidos totales	24
2.1.6 Análisis bromatológico	24
2.2 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE <i>Pleurotus Ostreatus</i> EN LOS RESIDUOS	25
2.2.1 Preparación del inóculo	25
2.2.2 Preparación del sustrato	25
2.2.3 Estandarización del medio de cultivo	25
2.2.3.1 Ensayo con sobrenadante y precipitado de solución de fibras	25
2.2.3.2 Ensayo con diferentes fuentes de nitrógeno y mayor contenido de fibra	27
2.2.3.2 Ensayo con diferentes pretratamientos en fibra de fique	27
2.2.4 Preparación del sustrato	28
2.2.5 Determinación de cinética de crecimiento	28
2.3 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS OBTENIDOS POR COLONIZACIÓN FÚNGICA POR <i>Pleurotus Ostreatus</i>	29
2.3.1 Obtención del material	29
2.3.1.1 Preparación del inóculo	29
2.3.1.2 Preparación del sustrato	30
2.3.1.3 Inoculación e incubación	31
2.3.1.4 Inactivación	31
2.3.2 Caracterización	31
2.3.2.1 Análisis termogravimétrico (TGA)	31
2.3.2.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	31

2.3.2.3 Resistencia a la compresión	32
2.3.2.4 Ensayo de flexión	32
2.3.2.5 Densidad aparente	33
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	34
3.1 ADECUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS	34
3.1.1 Relación aspecto	34
3.1.2 pH	36
3.1.3 Sólidos totales	37
3.1.4 Análisis bromatológico	37
3.2 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE <i>Pleurotus Ostreatus</i> EN LAS FIBRAS DE COCO, BAGAZO DE FIQUE Y BAGAZO DE CAÑA	38
3.2.1 Estandarización del medio de cultivo	38
3.2.1.1 Ensayo con sobrenadante y precipitado de solución de fibras	38
3.2.1.2 Ensayo con diferentes fuentes de nitrógeno y mayor contenido de fibra	38
3.2.1.3 Ensayo con diferentes pretratamientos en fibra de fique	38
3.2.2 Determinación de la cinética de crecimiento	38
3.3 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS OBTENIDOS POR COLONIZACIÓN FÚNGICA POR <i>Pleurotus Ostreatus</i>.	40
3.3.1 Análisis termogravimétrico (TGA)	40
3.3.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	42
3.3.5 Resistencia a la compresión	44
3.3.4 Ensayo de flexión	45
3.3.5 Densidad aparente	45
4. CONCLUSIONES	47

5. RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Relación número de tamiz y abertura	23
Tabla 2. Diseño experimental cinética de crecimiento	26
Tabla 3. Reactivos de los medios de cultivo (medio mandes modificado)	28
Tabla 4. Diseño experimental tercera parte	30
Tabla 5. Resultados de longitud (MOAR)	36
Tabla 6. Resultados de diametroo (MOAR)	36
Tabla 7. Relación aspecto	37
Tabla 8. Resultados de determinación de pH	37
Tabla 9. Resultados de determinacion sólidos totales	38
Tabla 10. Caracterización química de BF, BC y MC	38
Tabla 11. Estado de crecimiento en 15 días de incubación	39
Tabla 12. Resistencia a la compresión	45
Tabla 13. Ensayo de flexión	46
Tabla 14. Resultados densidad	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura monomérica de la celulosa	18
Figura 2. Sitios de recolección de residuos	21
Figura 3. Tratamientos previos a molienda	22
Figura 4. Proceso de molienda	22
Figura 5. Equipo de tamizado	23
Figura 6. Sistema de observación	23
Figura 7. Fibras observadas con sistema de observación	24
Figura 8. Medición de pH en fibra de coco	24
Figura 9. Secado de fibra de caña hasta peso constante	25
Figura 10. Resultado de hidratación de fibras	27
Figura 11. Diferentes preparaciones	27
Figura 12. Medios de cultivo colonizados	29
Figura 13. Preparación del inóculo	31
Figura 14. Espécimen de MC en ensayo de compresión	33
Figura 15. Especimen de BC en ensayo de flexión	34
Figura 16. Espécimen para medición de densidad	34
Figura 17. Muestras de las diferentes fibras	35
Figura 18. Crecimiento micelar del hongo en los sustratos (MC, BC y BF)	40
Figura 19. Resultado del TGA de las fibras (MC y BC), los materiales obtenidos (material MC y material BC) y el hongo (<i>Pleurotus Ostreatus</i>)	41
Figura 20. Derivada del TGA de mesocarpio de coco (MC) y bagazo de caña (BC)	42
Figura 21. Resultado del DSC de las fibras (MC y BC), los materiales obtenidos (material MC y material BC) y el hongo (<i>Pleurotus Ostreatus</i>)	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Caracterización química de bagazo de caña	57
Anexo B. Caracterización química de mesocarpio de coco	58
Anexo C. Caracterización química de bagazo de fique	59
Anexo D. Pruebas estadísticas de cinética de crecimiento	60
Anexo E. Pruebas estadísticas de compresión	61
Anexo F. Pruebas estadísticas de flexión	62
Anexo G. Pruebas estadísticas de densidad	63

GLOSARIO

RELACIÓN DE ASPECTO: se define como un número adimensional obtenido de la división entre la longitud de la fibra y su diámetro y determina que a menor diámetro mayor cantidad de fibras por unidad de volumen.

TGA: el Análisis por Termo Gravimetría se define como la técnica en que se mide el porcentaje del peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura mientras se somete a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica.

DSC: la calorimetría diferencial de barrido, es una técnica experimental dinámica que permite determinar la cantidad de calor que absorbe o libera una sustancia.

DENSIDAD: es un elemento importante en la caracterización de materiales compuestos pues nos indica el peso en una unidad espacial de este.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN: es la fuerza soportada por un material cuando se somete a un esfuerzo en tres o cuatro puntos para ser doblado sufriendo una deformación.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: es un ensayo donde se aplica una fuerza compresiva a una velocidad moderada hasta causar la fractura del material.

MICELIO: es la masa de hifas ramificadas, en forma de hilo que constituye el cuerpo vegetativo de un hongo

pH: el pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad de una sustancia. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el agua.

SAPONINAS: las saponinas son metabolitos secundarios que producen algunas plantas como defensa contra la depredación.

INTRODUCCIÓN

El uso cotidiano sumado con el consumismo y la cultura de uso y desecho hace que la generación de residuos ocurra de manera masiva y continua, logrando así un aumento en la acumulación de desechos plásticos debido a su baja o nula degradación lo que evita que se reincorporen fácilmente a los ciclos naturales, ya su durabilidad significa que persisten en el medio ambiente durante muchos años, y su baja densidad hace que se dispersan fácilmente. Obteniendo como resultado, que los desechos plásticos ahora son contaminantes ubicuos incluso en las áreas más remotas del mundo (Ryan, 2015). Frente a esto existen algunas alternativas para la posible eliminación, como la incineración, pero esta técnica genera problemas ambientales por la producción de gases tóxicos. Por otro lado, encontramos el reciclaje que conlleva costos de separación y procesamiento, además de el alto volumen necesario para obtener un peso satisfactorio para su venta, estos aspectos generan cierta discusión sobre si es una solución viable y real al problema de los residuos plásticos. (Navia, y Bejerano, 2014). En Colombia de las 859.000 toneladas de plástico desechado en el año, solo fue reciclado el 28%, equivalente a 240.520 toneladas y dentro de las cuales solo 500 toneladas son de EPS (EPS), participando activamente con el 0,2% del total de reciclaje de plásticos en el país (Betancourt, y Solano, 2016).

Esto ha llevado a estimular el desarrollo de nuevos empaques biodegradables a partir de recursos renovables, buscando así presentar alternativas que cumplan con características mejores o similares a las que ofrecen los materiales plásticos. Pero, sobre todo, se busca que esta nueva tecnología reduzca los impactos ambientales negativos que se presentan en su disposición final, mediante una degradación más rápida, lo que permite una reincorporación a la naturaleza en un menor tiempo (Ruiz, Pastor, y Acevedo, 2013).

Actualmente ya existen iniciativas que emplean residuos lignocelulósicos con colonización fúngica para el desarrollo de materiales compuestos que tienen la capacidad de sustituir el EPS. Ecovative es una empresa estadounidense que desarrolla este tipo de biocompuestos a base de residuos de algodón (Ecovative, 2018), pero estos reservan la información tanto de los detalles del proceso como los hongos usados, por esto es importante investigar esta tecnología aplicada a nuestra región con hongos nativos y residuos lignocelulósicos de las diferentes agroindustrias como el fique, la caña y el coco pues estos son actualmente desechados localmente haciendo fácil su consecución y abriendo una nueva puerta a la valorización de sus cadenas agroindustriales.

Por tal motivo esta investigación pretende diseñar una metodología para la elaboración de una matriz polimérica reforzada con fibras obtenidas de mesocarpio de coco (MC), bagazo de caña (BC) y bagazo de fique (BF) por medio de colonización fúngica de *Pleurotus Ostreatus*. Para ello se comenzará realizando la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de los residuos lignocelulósicos, luego se determinará la cinética de crecimiento del hongo en cada residuo y por último se obtendrá un material compuesto con diferentes tamaños de partícula (resultados de tamizado en tamices 16 Y 50) de MC, BC y BF.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 LOCALIZACIÓN

Se dividió la fase de campo en dos etapas: la primera se llevó a cabo en diferentes municipios del Cauca y Medellín, en Argelia se recolectó el bagazo de caña de los diferentes productores de panela de la región, Paniquita (Totoró) donde se consiguió el bagazo de fique y Medellín, en donde se adquirió mesocarpio de coco en la empresa sustitutos ecológicos. La segunda fase se ejecutó en los laboratorios de reología y las plantas pilotos de la Universidad del Cauca, en donde se realizó la obtención y caracterización del material.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Material compuesto. Se le llama material compuesto al producto constituido por dos o más componentes que al diferir químicamente o en su forma, en una escala macroscópica, aportan al material características y propiedades diferentes (Chawla, 2012).

En esta combinación se puede identificar dos fases: una discontinua, denominada refuerzo, y otra continúa conocida como matriz. Estos materiales se pueden adaptar a varias propiedades al elegir adecuadamente sus componentes, sus proporciones, sus distribuciones, sus morfologías, sus grados de cristalinidad, así como la estructura y composición de la interfaz entre componentes (Deborah, 2010).

1.2.1.1 Refuerzos para materiales compuestos. En los materiales compuestos el refuerzo utilizado trae consigo diferentes propiedades al material como la densidad, la fuerza de tensión, el módulo de tracción, entre otras; este puede ser particulado o fibroso, que se selecciona de acuerdo a las propiedades deseadas o requeridas en el producto terminado (Kar K., 2017). Como material de refuerzo podemos encontrar fibras que se definen como estructuras filamentosas de origen sintético (nylon, poliolefinas, acrílicas, etc.), artificial (fibras de celulosa, de éster, de proteínas y misceláneas) o natural (fibras de cáñamo, fique, coco, banano, lana, seda, etc.) (Quintero, y González, 2006).

1.2.1.2 Matriz para materiales compuestos. Se le llama matriz a la fase que une el refuerzo, está se filtra por medio de las fibras y da la forma según el diseño requerido, influyendo notablemente en las propiedades del compuesto final (Mortensen, 2007). En este mismo contexto podemos distinguir diferentes matrices que se clasifican según su naturaleza como: compuestos de polímeros, metales y matrices cerámicas, a menudo designados como PMC, MMC y CMC, respectivamente (Park, y Seo, 2011). Además de estas, en la actualidad se están considerando nuevas matrices biodegradables, que

buscan darle al material un lado más amigable, con fuentes renovables o productos de reciclaje (Illana, 2014).

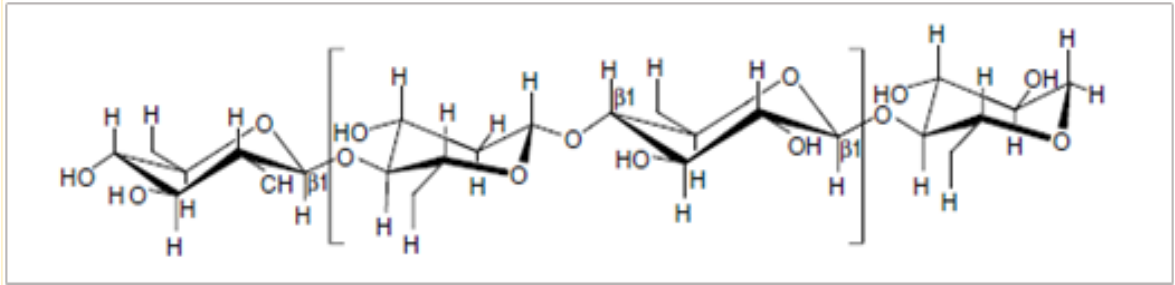
- **Materiales compuestos de matriz biodegradable o biocomposite.** Los compuestos biodegradables están constituidos por matrices de diferente naturaleza (Scott, 1999), entre ellos podemos encontrar los polímeros biodegradables que pueden derivarse de resinas sintéticas o naturales de origen vegetal y animal (Villada et al, 2007). Además de tener una composición renovable o reciclable, los compuestos biodegradables sus deben satisfacer otros requerimientos dentro de los cuales se encuentran: su fabricación debe ser energética y económicamente eficientes (Jones et al. 2017), durante ninguna etapa de su ciclo puede producir algún tipo de contaminante o material tóxico, Su disposición final (reciclaje, compostaje, etc.) debe ser cuidadosamente elegida y evaluada para que permita al residuo reincorporarse a los ciclos biológicos de manera apropiada sin causar ninguna alteración negativa (Arifin y Yusuf, 2013).
- **Materiales compuestos de matriz fúngica.** Este material compuesto utiliza micelios de diferentes hongos filamentosos como matriz (Bayer et al., 2008), que colonizan el sustrato o material de refuerzo logrando crear una red de células miceliales interconectadas que se ajustan al diseño requerido (Rocco et al., 2012). Dentro de los hongos usados en estas matrices, se encuentra el *Pleurotus* Sp. (López et al., 2016). También es recomendado que el método de colonización fúngica de estos materiales se realice preferiblemente con hongos como: *Pleurotus Ostreatus*, *Agrocybe brasiliensis*, *Velutitas de Flammulina*, *Hipholoma capnoides*, *Hipholoma sublatino*, *Morchella angusticeps*, *Macrolepiota procera*, *Coprinus comatus*, *Agaricus arvensis*, *Ganoderma tsugae*, entre otros (Bayer et al., 2008).

1.2.2 Residuos lignocelulósicos. Los materiales lignocelulósicos incluyen una variedad de materiales tales como aserrín, álamo, árboles, bagazo de caña de azúcar, papel de desecho, granos gastados de la cerveza, hierba de cambio y Pajitas, tallos, hojas, cáscaras, etc. (Kumar, Kessler, 2015). Las estructuras macromoleculares de los materiales lignocelulósicos son celulosa, lignina y hemicelulosa. (Julian, Reyes, y Eguchi, 2018) donde la celulosa y hemicelulosa se conocen como polímeros de carbohidratos y la lignina un polímero aromático. Estos polímeros de carbohidratos contienen diferentes monómeros de azúcar (seis y cinco azúcares de carbono) y están estrechamente ligados a la lignina. Básicamente, la celulosa forma un esqueleto, que está rodeado de hemicelulosa y lignina. Su composición y propiedades la hacen apta para ser empleada como materia prima en multitud de procesos. Su carácter renovable, abundancia y bajo costo aumentan el interés de su utilización a nivel industrial y fundamentan el interés de los estudios que desarrollen sus aplicaciones potenciales.

1.2.3 Celulosa. La celulosa es una macromolécula lineal que consiste en D-anhidroglucosa (C₆H₁₁O₅) repitiendo unidades de enlaces β-1,4-glicosídicos (Figura 1) con un grado de polimerización de alrededor de 10.000. Cada unidad de repetición contiene tres hidroxilos. Estos grupos hidroxilo y su capacidad para formar enlaces de hidrógeno juegan un papel importante papel en la dirección del embalaje cristalino y

también gobiernan las propiedades físicas de los materiales de celulosa. (Amar et al., 2005) Es uno de los polímeros de mayor abundancia en el planeta, se encuentra en cuerpos vegetales, algas, como metabolitos de algunos microorganismos y en caparazones de algunos animales marinos, sus grupos OH permiten su interacción con alcoholes, éteres o ésteres lo que permite gran variedad de modificaciones químicas y así productos. (Zuluaga, Castro, y Osorio, 2017)

Figura 1. Estructura monomérica de la celulosa



Fuente. Amar et al., 2005

1.2.4 Hemicelulosa. Las hemicelulosas son heteropolisacáridos constituidos por unidades diferentes de monosacáridos (pentosas, hexosas y ácidos urónicos) unidos entre sí por enlaces glicosídicos, constituyen entre el 15 y el 35% de la biomasa vegetal. Las hemicelulosas más relevantes son los xilanos y los glucomanos, siendo los xilanos los principales componentes hemicelulósicos de las paredes celulares secundarias de maderas duras y plantas herbáceas. Los xilanos suelen estar disponibles en cantidades importantes como subproductos del bosque, agricultura, agroindustrias, Industria de la madera y pulpa y papel. por otro lado, los glucomanos se encuentran como principales componentes en las maderas blandas. (Gírio, Fonseca, Carvalheiro, Duarte, Marques, y Bogel-Łukasik, 2010).

1.2.5 Lignina. La lignina es un polímero tridimensional de unidades fenilpropanoides, que funciona como un pegamento celular que proporciona resistencia a la compresión del tejido vegetal y las fibras individuales, rigidez de la pared celular y resistencia contra insectos y patógenos. (Furkan, y Remzi, 2015). Es un polímero fuerte y rígido que en las plantas une las moléculas de celulosa, puede modificarse químicamente para producir un termoplástico con propiedades similares a las de termoplásticos sintéticos, su producción como subproducto de la industria de la celulosa es de 50 millones de toneladas por año, empresas como TECNARO en Alemania elabora compuestos a base de lignina que pueden ser extruidos o usados en moldeo por compresión para obtener productos biodegradables (Quarshie y Carruthers, 2014).

1.2.6 Fibra de coco. La palma de coco es originaria de Asia y fue propagada a todo el mundo, su género es cocos y especie nucifera, es cultivada para la obtención de su fruto el cual es una drupa formada por una epidermis lisa, un mesocarpio espeso (generalmente llamado estopa) del cual se extrae fibra, endocarpio (capa fina, dura y

marrón) también llamado hueso o concha y el albumen sólido y líquido en el centro. El fruto se encuentra formado por 25% de agua, 28% de copra, 12% de endocarpio y 35% de cáscara fibrosa (Ortega, Reyes, y Torres, 2005). La fibra de coco tiene un alto contenido de lignina lo que la hace una de las fibras naturales más duras. Entre las características que destacan la fibra de coco se encuentran su alta capacidad de retención de humedad sobre un 65% aproximadamente. (Sandoval, Zapata, Quezada, Solís, y Sandoval, 2013)

1.2.7 Bagazo de fique. El fique es una planta de América tropical, se encuentra en Colombia en grandes cantidades en todos los climas. Actualmente se destaca la producción de sacos, cordeles y lazos hechos con fibras largas que abarcan el 4% de la hoja de fique, dejando el restante 96% (fibras cortas 2%, jugos 41% y bagazo 32%) como desechos que generan problemas ambientales. (Peinado, 2005). El bagazo es el segundo subproducto en cantidad después del jugo, está compuesto por 30% de fibrillas (también llamadas estopa) y un 70% de material vegetal, la estopa puede ser extraída mediante tratamientos fisicoquímicos para la elaboración de pulpa de papel y el material vegetal es comúnmente usado como fertilizante.

1.2.8 Bagazo de caña. El bagazo es el residuo lignocelulósico, fibroso, obtenido de los tallos de la caña de azúcar después de que esta ha sido sometida al proceso de extracción del jugo azucarado, se recoge de la salida del último molino del tándem y figura el 28% en peso de la caña que se procesa. Constituido por cuatro fracciones: fibra (45 %), sólidos insolubles (2-3 %), sólidos solubles (2-3%) y agua (50%) representa el coproducto de mayor tonelaje y volumen de la producción industrial del azúcar de caña. (Olmo et al, 2016)

1.2.9 Cinética de crecimiento. Es el incremento en el número de células de un cultivo microbiano, este comúnmente representa mediante una curva de crecimiento en la cual se diferencian 4 fases (latencia, exponencial, estacionaria y de muerte), de las cuales la que generalmente es de interés es la exponencial ya que en esta el incremento celular es el máximo, la gráfica que se obtiene experimentalmente de esta fase es de igual modo exponencial por lo que para su análisis es propio linealizarla haciendo uso de logaritmos en el eje y, de la recta obtenida se hace necesario determinar su ecuación característica matemáticamente ($y = mx \pm b$) donde m (representa la velocidad de crecimiento) y se consigue de $m = \Delta y / \Delta x$ y b resulta de despejar de la ecuación principal reemplazando Y y X con valores experimentales ($b = y - mx$) (Bikandi, 2014).

1.2.10 Pleurotus Ostreatus. Las especies del género *Pleurotus* son lignícolas saprotróficas o parásitas, pertenecientes al grupo de hongos de la pudrición blanca. Éstos son eficientes descomponedores de maderas duras y blandas, que hacen accesible la celulosa al resto de los microorganismos tras su deslignificación (Martínez et al. 2005).

La especie perteneciente al *Pleurotus Ostreatus* es un hongo comestible que crece de forma natural en árboles cerca de las riveras de ríos, pertenece al orden de los agráciales

(hongos con cuerpo fructífero en forma de sombrilla), su píleo es en forma de concha (ostra) de lo cual proviene su nombre y puede medir de 4 a 13 cm, su incubación tarda de 22 a 30 días manteniéndose a una temperatura cercana a los 24°C, con poca iluminación y aireado, manteniéndose una humedad relativa entre el 70% y 80%. Los materiales usados como fuente de carbono generalmente son pajas de cereales; desperdicios de café, yuca, soya e industria del papel y fibras de arroz, coco y caña. (Hernández y López, 2010).

La seta ostra generalmente se clasifica de la siguiente manera; Nombre Científico: *Pleurotus* Sp; Filum: Basidiomycotina; Clase: Basidiomycetes; Subclase: Holobasidiomycetidae; Familia: Paliporaceae; Género: *Pleurotus*; Especie: *Sajor Caju*, *sapidus*, *Ostreatus*, *eous*, *membranaceous*, *la florida*, *citrinopileatus*, *flabellatus*, *pulmonarius*, *di jamour*, etc. (Asef, 2012).

1.2.11 Pruebas mecánicas y físicas de materiales compuestos. Las pruebas físicas y mecánicas son vitales para determinar las propiedades del material, lograr identificar su uso en el diseño y análisis de los productos, llevar el control de calidad, cumplir requisitos de rendimiento de la aplicación, y el proceso de producción. Las pruebas físicas y mecánicas aseguran que el material cumple con los requisitos de rendimiento de conformidad con las especificaciones industriales. Estos ensayos involucran la determinación de parámetros mecánicos tales como flexión, impacto, distorsión y compresión y el ensayo físico incluye la absorción de agua, densidad y la dureza. Muchos de estos ensayos se encuentran estandarizados por normas ASTM D (Jawaid, Saba, Thariq, 2019).

2. METODOLOGÍA

2.1 ADECUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS

El mesocarpio de coco se obtuvo en la empresa sustitutos ecológicos de Medellín, el bagazo de fique fue adquirido con productores de fique de Paniquita (Totoró) y el bagazo de caña fue conseguido con paneleros artesanales en la vereda porvenir, zona rural del municipio de Argelia (Ver figura 2).

Dadas las características del mesocarpio de coco no se hicieron necesarios tratamientos previos a la molienda, por su parte el bagazo de fique se obtiene junto con residuos de jugos por lo que antes del tratamiento mecánico es necesario un exhaustivo lavado con agua para la eliminación de saponinas y sapogeninas y luego un secado (humedad <10%) en un horno Binder BF-56 para facilitar el posterior proceso.

Finalmente, el bagazo de caña se cortó y se lavó con el fin de eliminar suciedad (figura 3) pues fue recogido del suelo (lugar de depósito) en la ramada, luego se secó hasta un contenido de humedad menor al 10% en un horno de convección forzada Binder BF-56.

Figura 2. Sitios de recolección de residuos



A: ramada en Argelia - recolección de BC y B: cultivo de fique en Totoró - recolección BF.

2.1.1 Molienda. Se comenzó con la adecuación de las fibras de coco y fique realizando cortes con tijera de aproximadamente 10 cm de longitud (figura 4), posteriormente se llevaron las fibras cortas de los tres residuos al molino de martillos (Penagos modelo TP 8) con una criba de 1,35 mm de diámetro (figura 4) para ser trituradas.

Figura 3. Tratamientos previos a molienda



A: lavado de BC y B secado de BF

Figura 4. Proceso de molienda



A: Corte de fibra de fique y B: Molienda de fibras de coco.

2.1.2 Tamizado. El proceso se realizó en una tamizadora eléctrica Ro-tap modelo TMZ 08 con un juego de tamices estándar ASTM E1.

En esta se depositó cada una de las muestras de fibras obtenidas en la molienda en el tamiz superior de un juego de tamices con números 10, 16, 30, 50 y fondo (Tabla 1), ubicándolos de forma descendente y asegurándolos en la tamizadora (Ver figura 5).

Tabla 1. Relación número de tamiz y abertura

Número Tamiz	Abertura del tamiz (mm)
10	2
16	1,18
30	0,6
50	0,3

Figura 5. Equipo de tamizado



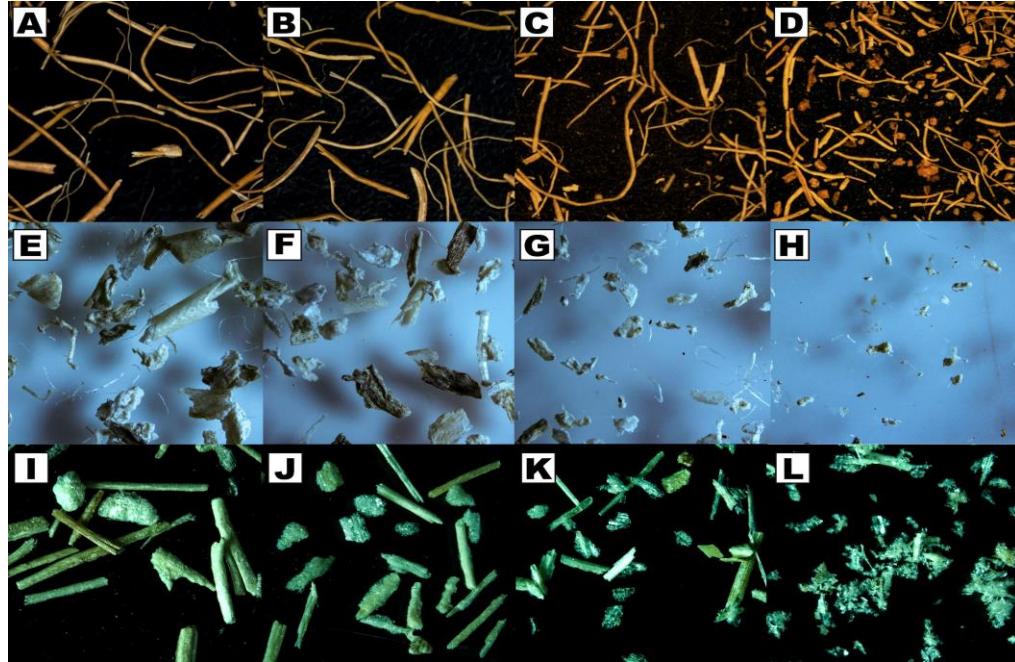
A: juego de tamices y B: tamizadora.

2.1.3 Relación de aspecto. Se tomaron 300 fibras elegidas de manera aleatoria para determinar su diámetro y longitud con microscopía óptica de alta resolución (MOAR) se usó un estereoscopio (Nikon Model C-DSS115) equipado con cámara digital (Nikon DS-2Mv 2Mp) (figura 6), se obtuvieron imágenes con ayuda del software NIS Element F (figura 7) de los productos de tamices 16, 30, 50 y fondos para las fibras y se utilizó el programa Image Pro Analyzer 6.0 para determinar las magnitudes de diámetro y longitud, finalmente, la relación de aspecto se calculó dividiendo la longitud entre el diámetro (Navia, 2011).

Figura 6. Sistema de observación



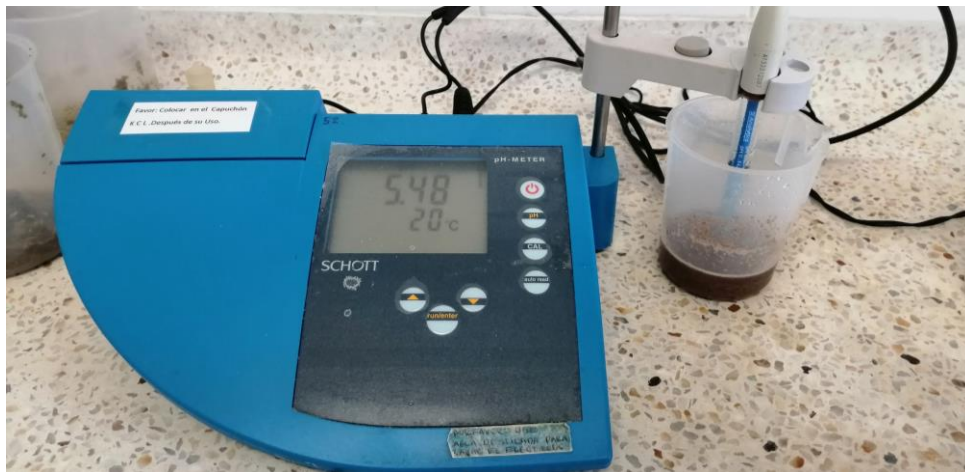
Figura 7. Fibras observadas con sistema de observación



A:MC-Tamiz 16, B:MC-Tamiz 30, C:MC-Tamiz 50, D:MC-Fondos, E:BF-Tamiz 16, F:BF-Tamiz 30, G:BF-Tamiz 50, H:BF-Fondos, I: BC-Tamiz 16, J: BC-Tamiz 30, K: BC-Tamiz 50 y L: BC-Fondos.

2.1.4 pH. El pH del residuo lignocelulósico se evaluó según la norma EN 13037 2012 (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, 2012), se preparó un extracto acuoso 1:5 (v/v) de la muestra. la medición se realizó mediante inmersión del electrodo de un pH metro de mesa marca schott modelo cg 843p, previa calibración de dos puntos en buffers din (pH=7, pH=4) (Liu, 2015) (ver figura 8).

Figura 8. Medición de pH en fibra de coco



2.1.5 Sólidos totales. Se midió por secado en una balanza de peso constante precisa modelo xm 60 (figura 9) hasta peso constante como consigna el standard methods 2540a (Standard Methods Committee, 1997).

Figura 9. Secado de fibra de caña hasta peso constante



2.1.6 Análisis bromatológico. Para el análisis Bromatológico de las fibras de coco y fique se contrató los servicios de laboratorio de la Universidad de Nariño (Laboratorio de Bromatología - Abonos orgánicos), el cual proporciono los resultados que arrojan los métodos usados para el análisis de las fibras sobre: Humedad (Termogravimétrico), Cenizas (Termogravimétrico), Extracto etéreo (Soxhlet), Fibra cruda (Digestión ácido – base), Proteína (Kjeldahl (N*6,25)), Energía bruta (Calorimetría de bomba), Fibra detergente neutro y ácido (Van Soest secuencial), Lignina (Van Soest secuencial, oxidación con KMnO_4), Fósforo (Digestión vía húmeda, Ácido ascórbico), Azufre (Digestión vía húmeda, Turbidimetría) y minerales (Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn, Zn) (Digestión vía húmeda, EAA). Para realizar los análisis de estas fibras fue necesario enviar 250g de cada fibra.

El análisis del bagazo de caña se realizó en el laboratorio de servicios analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, donde se determinó Proteína (a partir de Nitrógeno total), humedad (gravimetría), materia seca (gravimetría), cenizas (gravimetría), Extracto Etereo (Soxhlet gravimetría), fibra Cruda (Soxhlet gravimetría), fibra Ácida Detergente (soxhlet Gravimetría), lignina (método ácido detergente - Soxhlet Gravimetría), celulosa (FAD-Lig), Fibra Neutra detergente (soxhlet – Gravimetría) y Hemicelulosa (DAD-FND), para esto se enviaron 250 g del residuo.

2.2 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE PLEUROTUS OSTREATUS EN LOS RESIDUOS

El diseño experimental trabajado tuvo un arreglo unifactorial en donde se evaluaron las fibras de coco, fique y caña sobre la velocidad de crecimiento del hongo (tabla 2), para realizar la prueba fue necesario estandarizar la preparación del medio de cultivo con las fibras modificando el modo de dispersión de estas, los pretratamientos para las fibras de fique y la fuente de nitrógeno.

Tabla 2. Diseño experimental cinética de crecimiento

Factor	Niveles	Variable de respuesta
Tipo de fibra	MC	Velocidad de crecimiento
	BC	
	BF	

2.2.1 Preparación del inóculo. La cepa fúngica fue adquirida de la empresa hongos sietcha (Cundinamarca), esta se replicó en medios de cultivo con agar PDA los cuales se incubaron por 15 días a 28°C en una incubadora (Binder BF-56) (Ríos, Valdez, y Jiménez, 2017), luego se almacenaron en refrigeración para su posterior uso.

2.2.2 Preparación del sustrato. La base de los medios de cultivo son las fibras y su disponibilidad depende de su dispersión en el agar, para eso se eligieron las fibras de menor tamaño que fueron retenidas en los fondos del tamizado que pasaron por el tamiz 50 (<3 mm).

2.2.3 Estandarización del medio de cultivo. Previo a la preparación del medio de cultivo se hizo necesario la determinación de las cantidades de componentes a agregar, esto se realizó por medio de preliminares (ensayos) en donde se evaluó la metodología de preparación de las fibras, la fuente de nitrógeno a usar y pretratamientos para las fibras de fique.

2.2.3.1 Ensayo con sobrenadante y precipitado de solución de fibras. En principio las fibras fueron hidratadas, se tomaron de 5g de cada una en un beaker de 100 mL y se adiciono agua en diferentes relaciones (1:5, 1:10 y 1:20), la solución se agitó y dejó en reposo durante 30, 120 y 240 minutos, luego se separó el sobrenadante con ayuda de una pipeta y se quitó el agua restante al precipitado (ver figura 10).

Se prepararon medios en los cuales se agregó agar (15 g/L), sobrenadante en 10, 20 y 30 % y precipitado 3 y 5 % (BH - 80%), se calentó hasta ebullición y se sirvió en cajas de petri, cuando estas solidificaron se observó la dispersión de las fibras y se eligieron los mejores para los siguientes ensayos.

Figura 10. Resultado de hidratación de fibras



A: precipitado coco y B: sobrenadante coco.

Se prepararon las siguientes combinaciones para los medios de cultivo: sales sin fibras, precipitados con y sin sales y sobrenadante con sales, se inició con la elaboración de 1000 mL de solución de sales (tabla 3), esta se dividió en los ensayos en beakers de 250 mL (figura 11) a los cuales se agregó agar-agar (15 g/L), a la temperatura de 70°C se agregaron las fibras correspondientes y se llevó a ebullición, estos medios junto con cajas de petri se autoclavaron a 121°C durante 15 minutos en una autoclave All american, cuando el medio enfrió se vertió en las cajas de petri (30 mL aprox.) dentro de una cámara de flujo laminar ESCO Streamline modelo SCV-4A2, cuando solidificó se cubrieron con vinipel y se almacenaron para su posterior inoculación.

Figura 11. Diferentes preparaciones



las cajas de petri con los medios de cultivo luego de 2 días de reposo fueron inoculadas con *Pleurotus Ostreatus* de los medios preparados en el numeral 3.2.1, para esto se tomaron trozos de 5x5 mm y se depositaron en el centro geométrico de las cajas dentro

de una cámara de flujo laminar ESCO Streamline modelo SCV-4A2, luego se incubaron a 28°C en una incubadora (Binder BF-56) y se hizo seguimiento cada 2 días para examinar el crecimiento.

Tabla 3. Reactivos de los medios de cultivo (medio mandes modificado)

Reactivo	Cantidad por 1000 mL
Agar-Agar	15 g
KH ₂ PO ₄	2 g
CaCl ₂ .H ₂ O	0,3 g
MgSO ₄ .H ₂ O	0,3 g
Tween 80	0,1 g
FeSO ₄ . 6H ₂ O	5 mg
MnSO ₄ . H ₂ O	16 mg
ZnCl ₂ . 2H ₂ O	17 mg
CoCl ₂ . 6H ₂ O	2 mg
NH ₄ H ₂ PO ₄	1 g

Fuente: Rodríguez y Piñeros, 2007

2.2.3.2 Ensayo con diferentes fuentes de nitrógeno y mayor contenido de fibra.

Debido a que la disponibilidad del fosfato monoamónico (NH₄H₂PO₄) era limitada se optó por encontrar un sustituto, para esto se realizaron ensayos con peptona bacteriana, sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) y cloruro de amonio (NH₄Cl), también se cambió el modo de adición y cantidad de fibras, se eligieron los fondos del juego de tamices estándar ASTM E11 bajo el tamiz 50 (apertura 0,3 mm).

Tras la preparación de solución de sales, esta se dividió en 3 erlenmeyers de 500 mL donde se reemplazó el fosfato monoamónico de la tabla 3 por los nuevos componentes, se agregó el agar-agar (15 g/L) y se llevó a 70°C, luego se vertieron las fibras en proporción del 2% y se llevó a ebullición, finalmente se autoclavó, inoculó e hizo seguimiento igual al numeral anterior e incluyendo una medición del halo de crecimiento pasados 15 días en donde un crecimiento radial mayor 3 centímetros es considerado alto, menor a este es bajo y sin crecimiento corresponde a nulo.

2.2.3.3 Ensayo con diferentes pretratamientos en fibra de fique. Debido al deficiente desarrollo del hongo en los medios con fique se evaluaron 3 pretratamientos para este, (lavado, autoclavado y lavado-autoclavado), luego del tratamiento se prepararon los medios con la metodología mencionada en el numeral 3.2.3.2 y luego de 15 días se midió el crecimiento igual al numeral anterior.

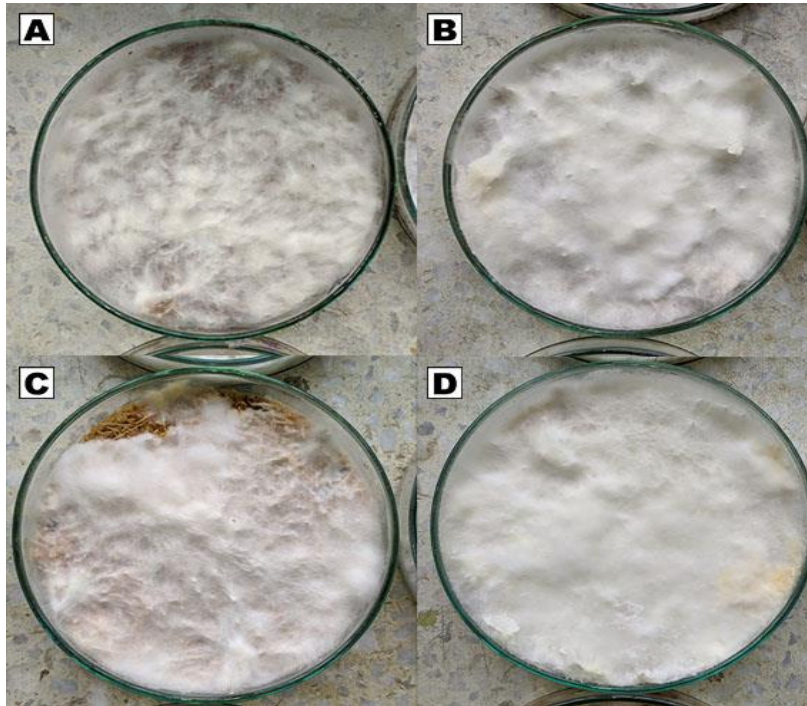
- Lavado: las fibras se remojan durante 8 horas, luego se lavaron hasta que no se observó espuma (indica la eliminación de saponinas), se escurren y secan en un horno (Binder BF-56) por 8 horas a 60°C.

- Autoclavado; las fibras fueron introducidas en bolsas de polietileno y se autoclavaron a 121°C por 15 minutos, se dejaron enfriar y secaron en un horno (Binder BF-56) por 8 horas a 60°C.
- Lavado-autoclavado: las fibras se lavaron como el primer punto y al terminar el escurrido se autoclavó a 121°C por 15 minutos, se dejaron enfriar y secaron en un horno (Binder BF-56) por 8 horas a 60°C.

2.2.4 Preparación del sustrato. Se preparó una solución de sales como describe la tabla 3 reemplazando el fosfato monoamónico por peptona que se incluye según una relación carbono nitrógeno (C/N) de 100:1 (Fernández, 2014), se vertieron aproximadamente 330 mL de esta en 3 erlenmeyers, se agregó agar-agar en (15 g /L) y se llevó a 70°C, se agregaron las fibras en proporción del 2%, se calentó hasta ebullición, se autoclavó y se sirvió los medios en cajas de petri (30 mL aprox).

2.2.5 Determinación de cinética de crecimiento. Los medios fueron inoculados con el hongo preparado en el numeral 2.2.1, esto se realizó tomando discos de 5 mm de diámetro de los hongos en agar PDA y colocándolos en el centro geométrico de las cajas de petri, se trabajaron 10 repeticiones para cada muestra (MC, BC Y BF) obteniendo un total de 30 cajas (Pereira, Campos, Chávez, Anabalon, y Arriagada, 2014).

Figura 12. Medios de cultivo colonizados



A: cultivo en MC tamiz 16; B: cultivo en MC tamiz 50; C: cultivo en BC tamiz 16 y D: cultivo en MC tamiz 16.

Se incubó a 28°C y se hizo seguimiento cada 12 horas el cual consistió en tomar fotografías digitales de las cajas de petri sobre una hoja de papel milimetrado, esto se realizó hasta que el micelio cubrió la totalidad de la caja (Figura 12), las fotografías fueron procesadas en un software de análisis de imagen (ImageJ) modificando parcialmente la metodología de Martínez et al. con la cual se tomaron medidas del radio de crecimiento en 4 ángulos (0, 90, 180 y 270) (Martínez et al., 2015).

De los datos obtenidos se obtuvo la velocidad de crecimiento representada en la pendiente de la ecuación lineal de la gráfica de crecimiento radial versus tiempo y se define como u (Macías, Veana, Contreras, Aguilar, y Rodríguez, 2016), los datos obtenidos se evaluaron mediante una comparación de medias en el software IBM SPSS Statistics 25.

2.3 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS OBTENIDOS POR COLONIZACIÓN FÚNGICA POR PLEUROTUS OSTREATUS

Tabla 4. Diseño experimental tercera parte

Factor	Niveles	Variable de respuesta
Tipo de fibra	Mesocarpio de coco	Resistencia a la compresión
	Bagazo de caña	Ensayo de flexión
Tamaño	1.18	Densidad aparente
	0.3	

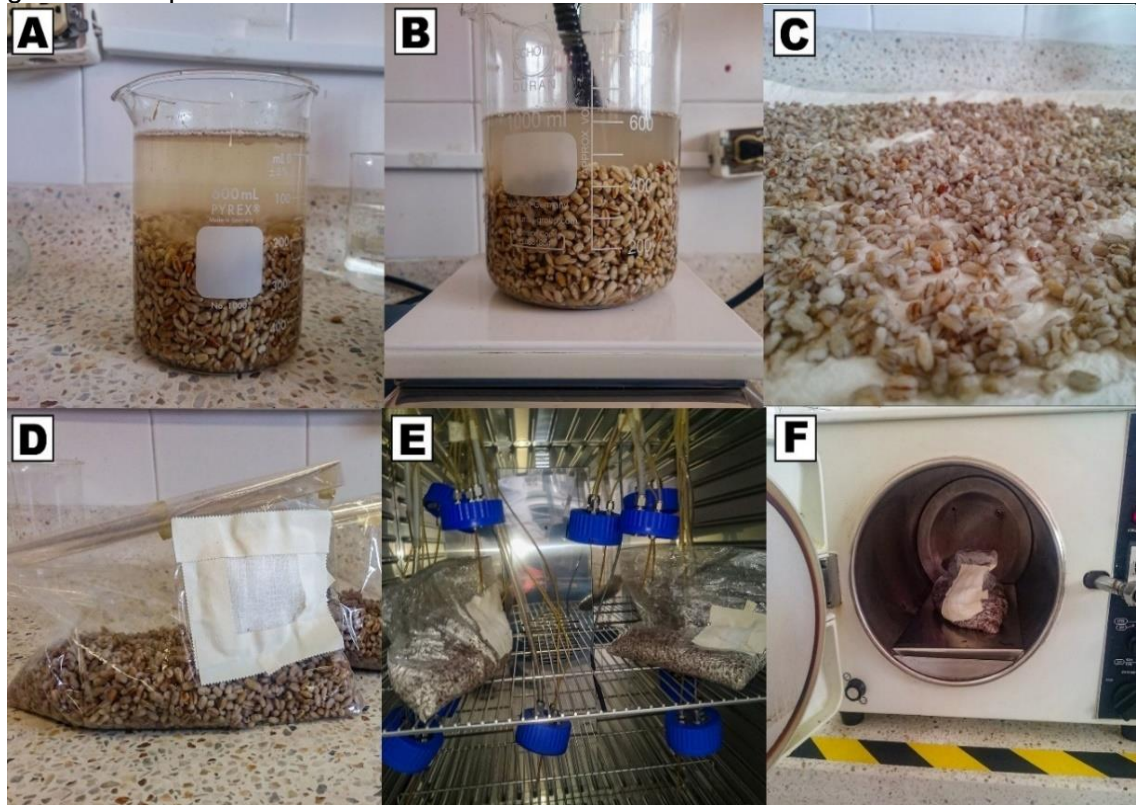
La tercera parte de la investigación se desarrolló con un diseño factorial completamente aleatorizado 2^2 en donde se evaluaron los factores: tipo de fibra (MC y BF) y tamaño de las mismas (1,18 y 0,3 mm) sobre las propiedades físicas de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y densidad, Los tratamientos se realizarán por quintuplicado, la tabla 4 resume el desarrollo de estas actividades.

2.3.1 Obtención del material. Para la obtención del material se hizo necesaria una preparación de inóculo el cual facilitara su incorporación y mezcla con el sustrato por lo cual se usaron granos de cebada, luego se hidrato el sustrato para su inoculación, se moldeó y finalmente se incubó como se describe a continuación.

2.3.1.1 Preparación del inóculo. se adquirieron granos de cebada del mercado local los cuales se trataron lavándose con abundante agua, luego se remojo por 12 horas, se hirvieron por 10 minutos, se escurrió por 30 minutos y se secaron con papel

superficialmente. Los granos tratados se vertieron en bolsas de polipropileno, se esterilizaron a 121°C durante 30 minutos, (Ardón, 2007) se les adicionó inóculo en trozos de 5x5 mm y se incubó a 28°C por 10 días (ver figura 13).

Figura 13. Preparación del inóculo



A: Granos de cebada sumergidos en agua; B: Granos de cebada hirviendo; C: Secado de Granos de Cebada tratada; D: Granos de cebada inoculados con *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum*; E: Autoclavado y F: incubación.

2.3.1.2 Preparación del sustrato. El agua enriquecida con sales se usó para humedecer las fibras en las proporciones establecidas haciendo uso de la ecuación (Ec. 3) para luego autoclavar a 121°C por 15 minutos en bolsas de polietileno.

Balance global

$$A \pm B = C \tag{Ec.1}$$

Balance composicional de agua

$$(A * Ha) \pm B = C * Hc \tag{Ec.2}$$

Despejando B desde 1 y 2

$$B = ((A * (0,7)) - (A * (Ha)))/(0,3) \tag{Ec.3}$$

Donde: A: Cantidad de residuo lignocelulósico; B: Cantidad de agua en gramos; C: Cantidad de residuo lignocelulósico húmedo; Ha: Humedad inicial de los residuos lignocelulósicos (obtenida del numeral 2.1.5) y Hc: Humedad final de los residuos lignocelulósicos húmedos la cual debe ser del 70% (0,7).

2.3.1.3 Inoculación e incubación. La inoculación se realizó vertiendo fibra en los moldes dependiendo de la prueba a realizar (ver numeral 2.3.2) junto con partes del micelio obtenido del numeral 2.3.1, estos fueron mezclados y se introdujeron en una incubadora (Binder BF-56) a 28 °C para su incubación durante 21 días.

2.3.1.4 Inactivación. Una vez el hongo colonizó todo el sustrato, la mezcla se llevó a un horno de convección forzada (Binder BF-56) a 60°C durante 8 horas para inactivar el hongo y reducir la humedad del material hasta un 8%.

2.3.2 Caracterización. La caracterización del material se da en dos partes, la primera con propiedades térmicas (TGA y DSC) con las cuales se pretende aproximarse a una identificación de los componentes y la segunda busca determinar las propiedades físicas (densidad, flexión y compresión) y su diferencia con los tratamientos planteados en el diseño experimental.

2.3.2.1 Análisis termogravimétrico (TGA). Se realizó según norma ASTM: E1131 – 08 (2014), tomando muestras de material de aproximadamente 5 mg, previamente acondicionadas por un periodo mínimo de 48 horas a una temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa del $50 \pm 10\%$. La degradación térmica de los materiales anteriormente mencionados se estudió en un equipo ta instruments modelo Q50. Los ensayos se efectuarán a una velocidad de calentamiento de $20^\circ\text{C}/\text{min}$, iniciando desde 30 a 600°C (ASTM-American Society for Testing and Materiales, 2014b).

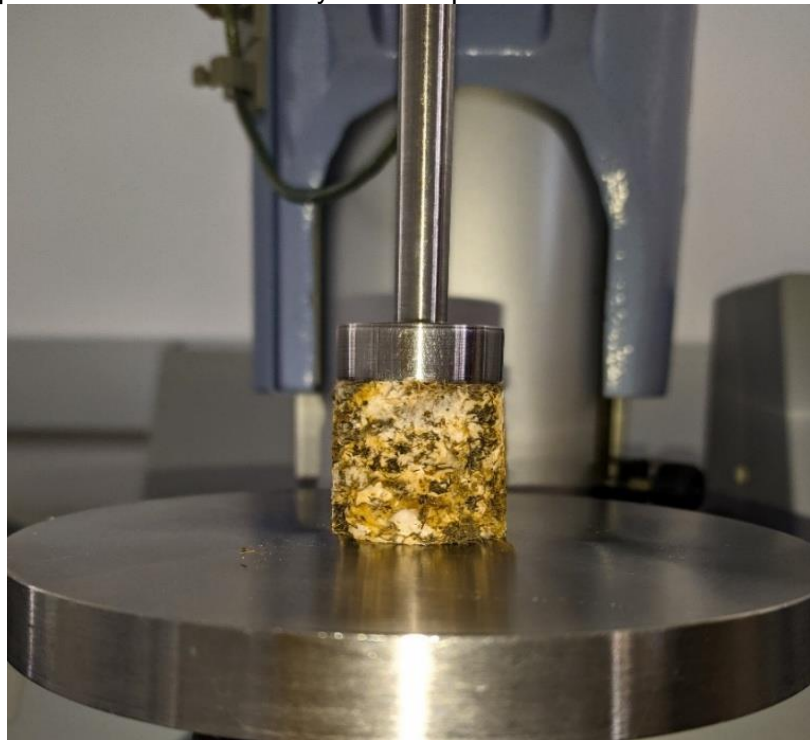
2.3.2.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Su desarrollo se basó en la norma ASTM d3418-15, se tomaron muestras de aproximadamente 5 mg previamente acondicionadas por un periodo de 48 horas a una temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa del $50 \pm 10\%$. Se empleó un calorímetro marca ta instruments modelo Q20, en el cual la muestra se depositó dentro de una cápsula de aluminio, se selló y colocó dentro de la cámara térmica del DSC.

Se efectuó un primer ciclo de calentamiento desde -60°C hasta 255°C que está establecido para borrar la historia térmica del material a una relación de calentamiento de $20^\circ\text{C}/\text{min}$, seguido de una isoterma de 255°C durante 5 minutos. Después se efectuó un ciclo de enfriamiento desde 255°C hasta -60°C a una relación de enfriamiento de $20^\circ\text{C}/\text{min}$ y una isoterma de -60°C durante 5 minutos. Finalmente se realizó un ciclo de calentamiento de -60°C a 255°C con el fin de determinar la temperatura de transición vítrea (tg), la temperatura de cristalización y la temperatura de fusión (tm) en las respectivas muestras.

2.3.2.3 Resistencia a la compresión. Las propiedades de compresión se midieron según la metodología descrita en la norma ASTM d695-15. Se utilizaron 5 muestras. Cada una de estas con forma cilíndrica de 12,7 mm de diámetro por 25,4 mm. Estos especímenes se almacenaron en una cámara climática a una humedad relativa de $50\pm 10\%$ y una temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, por un período de 40 horas.

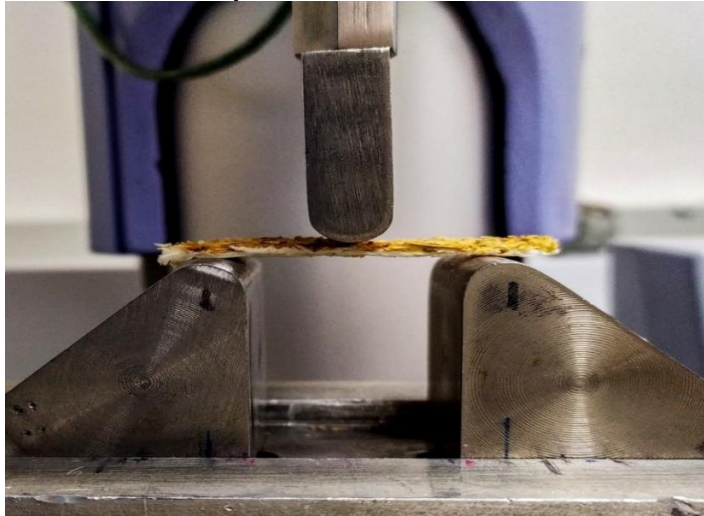
La altura y espesor de los especímenes se midieron por triplicado con un micrómetro. Para realizar la prueba se empleó una máquina universal de ensayos, equipada con platos de compresión, uno móvil y otro estático. El espécimen se ubicó centrado sobre el plato de compresión estático, a continuación, el plato móvil se desplazó a una velocidad de $1,3\pm 0,3$ mm/min, el ensayo termina una vez se alcance el límite elástico (figura 14) (ASTM-American Society for Testing and Materials, 2008).

Figura 14. Especimen de MC en ensayo de compresión



2.3.2.4 Ensayo de flexión. Se empleó la metodología del procedimiento b descrita en la norma ASTM d790-17 se usaron 5 muestras con las siguientes dimensiones: 12,7 mm de ancho y el largo será 16 veces el espesor. Estos especímenes se almacenaron por un período de 40 horas (antes del ensayo), a una temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $50\pm 10\%$. Para el desarrollo de la prueba se empleó una máquina universal de ensayos, equipada de una mordaza inferior o soporte de flexión y de un punzón de flexión, este último es móvil. El espécimen se colocó centrado sobre la mordaza inferior, a continuación, el punzón aplicó una fuerza a $13,2$ mm/min sobre la muestra hasta alcanzar los 6,61 mm (figura 15) (ASTM-American Society for Testing and Materials, 2017).

Figura 15. Especimen de BC en ensayo de flexión



2.3.2.5 Densidad aparente. Se siguieron los parámetros establecidos en la norma ASTM d1622-2014 (método de prueba estándar para la densidad aparente de celulares rígidos plásticos). se obtuvieron tres especímenes los cuales se almacenaron por un período de 40 horas (antes del ensayo), a una temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de $50\pm 10\%$. los especímenes se pesaron en una balanza (precisión del 0,1%), luego se tomaron 5 medidas por cada dimensión y finalmente se calcula la densidad mediante la relación entre peso y volumen (figura 16) (ASTM-American Society for Testing and Materials, 2014a).

Figura 16. Espécimen para medición de densidad

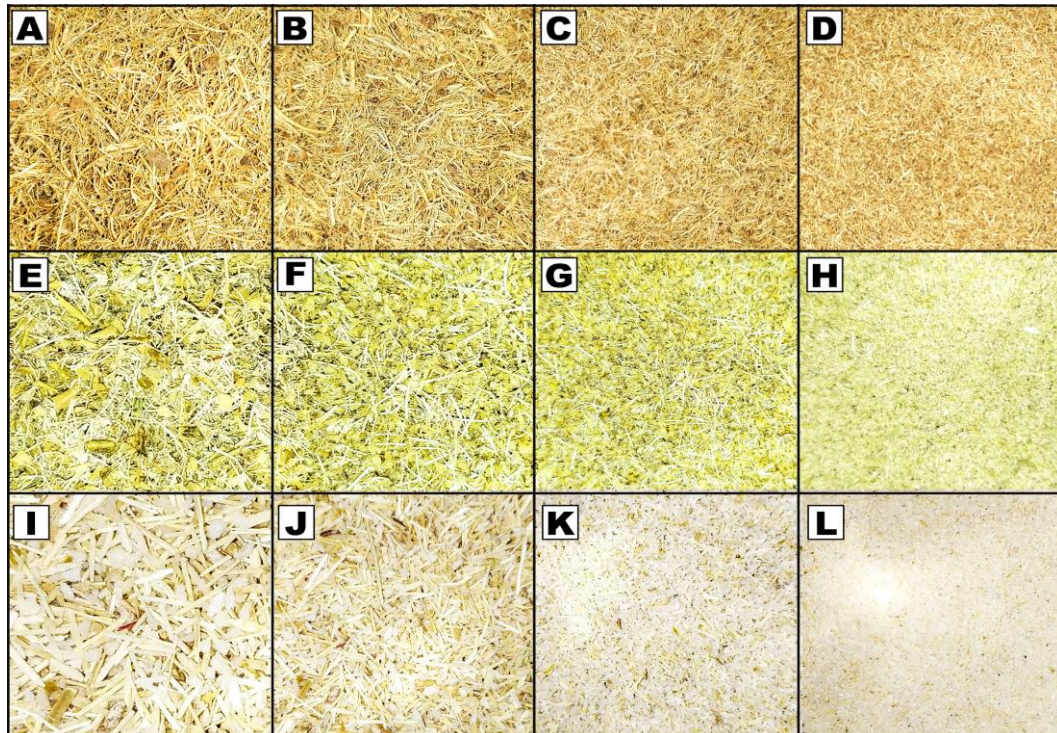


3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 ADECUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS

Como resultado de la molienda y tamizado se obtuvieron distintos tamaños para cada una de las fibras como lo muestra la figura 17.

Figura 17. Muestras de las diferentes fibras



A:MC-Tamiz 16, B:MC-Tamiz 30, C:MC-Tamiz 50, D:MC-Fondos, E:BF-Tamiz 16, F:BF-Tamiz 30, G:BF-Tamiz 50, H:BF-Fondos, I: BC-Tamiz 16, J: BC-Tamiz 30, K: BC-Tamiz 50 y L: BC-Fondos.

Como se observa en la figura 17 cada fibra tiene un color característico y diferenciable, el bagazo de caña tiene un color caqui, el bagazo de fique un color con tonos verde-amarillos y el coco color café, respecto a las aperturas de tamiz se evidencia visualmente y se corrobora en las tablas 5 y 6 una diferencia en los tamaños de partícula y su forma las cuales van desde fibras alargadas en el tamiz 16 hasta unos fondos granulados finos.

3.1.1 Relación aspecto. Se tomó la medida de longitud y diámetro a cada una de las fibras con diferente tamaño de partícula, los valores obtenidos se muestran a continuación en tres tablas resumen (Tabla 5, 6 y 7) (los valores de fondos en fibras de caña no se calcularon debido a su aglomeración como se evidencia en la figura 7).

Tabla 5. Resultados de longitud (MOAR)

Tamiz/Fibra	Coco (mm)	Fique (mm)	Caña (mm)
Tamiz 16	5,25±1,58	2,26±0,78	3,42±1,55
Tamiz 30	4,72±1,28	1,50±0,57	3,34±1,18
Tamiz 50	4,02±1,31	0,96±0,44	1,85±0,87
Fondos	2,59±1,00	0,48±0,21	

Referente a la longitud se evidencia un descenso que concuerda con la reducción de la abertura del tamiz en los tres tipos de residuos, por su parte los residuos de coco presentan una longitud mayor lo que pudo deberse a que estos se componen solo de fibras mientras el bagazo de caña y fique contienen material particulado que reduce dicho valor (ver figura 7), además este efecto puede presentarse debido a la dureza de las fibras de coco por su alto contenido de ligninas (Quintanilla, 2010) lo que les otorga una mayor resistencia al corte en el molino obteniéndose fibras más largas.

Tabla 6. Resultados de diámetro (MOAR)

Tamiz/Fibra	Coco (mm)	Fique (mm)	Caña (mm)
Tamiz 16	0,22±0,15	0,97±0,45	0,65±0,46
Tamiz 30	0,24±0,26	0,68±0,27	0,45±0,20
Tamiz 50	0,16±0,03	0,35±0,12	0,32±0,12
Fondos	0,16±0,03	0,20±0,07	

El diámetro promedio de los tratamientos es en todos los casos menor a la longitud (tabla 6) lo que supone que las partículas de los residuos son alargadas, particularmente el coco tiene un diámetro menor confirmado la composición mayormente fibrosa del residuo mientras el bagazo de caña y fique tienen valores de hasta 4 veces el diámetro del coco resultado de partículas más anchas como se corrobora en la figura 7.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos en la determinación de la relación de aspecto (L/D) de MC, BF y BC, aquí se evidencia que el residuo con mayor relación es el MC el cual sugiere un material mayormente fibroso, esto se verifica visualmente en la figura 7 (A, B, C y D).

Contrario a esto, el bagazo de fique es quien menos relación L/D posee, esto puede deberse al origen del residuo ya que en el beneficio del fique el objetivo es la obtención de fibras, por tanto los residuos están poco provistos de estas, esto es visible en la figura 7 (E, F, G y H) donde el BF posee una reducida cantidad de fibras, finalmente, el BC cuenta con una relación L/D intermedia lo que sugiere partículas con diámetros grandes respecto a su longitud, visualmente (figura 7: I, J; K y L) se evidencia una mezcla de partículas entre fibras y material amorfo lo cual reduciría su valor de L/D.

Estos datos ayudan a inferir su uso como material de relleno o de refuerzo. Según parámetros encontrados en la literatura valores <10 indican que la fibra actúa como relleno y los valores >10 actúan como refuerzo (Navia, D. 2011). Con base a esto se obtuvo como resultado que las muestras de bagazo de fique y caña se pueden tomar como material de relleno por otra parte, en las fibras de coco se obtuvieron relaciones de aspecto mayores a 10 lo cual nos indica que estas fibras son adecuadas para usarlas como material de refuerzo.

Tabla 7. Relación aspecto

Tamiz/Fibra	Coco	Fique	Caña
Tamiz 16	27,34±9,72	3,42±5,03	7,58±4,83
Tamiz 30	21,01±12,43	2,52±1,32	8,51±4,07
Tamiz 50	25,41±8,92	2,95±1,72	6,87±4,71
Fondos	16,92±7,45	2,45±1,09	---

3.1.2 pH. En general los resultados del pH en las diferentes fibras muestran valores que se encuentran dentro de la escala de los ácidos (tabla 8), considerando que el rango de acidez va de 0 a 7, estos concuerdan con reportes en donde exponen que los residuos agrícolas de naturaleza lignocelulósica, poseen un bajo pH (Villas, Esposito, Mitchell, 2002) lo que puede deberse a la presencia de ácidos grasos de cadena corta (Castrillón, Bedoya, & Montoya, 2006) Además los valores obtenidos en este ensayo arrojan resultados similares a los teóricos encontrados en diferentes artículos, teniendo entonces que para las fibras de coco se encontró un valor teórico de 5.3 (Peña, Posada, y Monsalve, 2015) mientras experimentalmente se obtuvieron valores desde 5.3 a 5.5; para el bagazo de fique los valores de pH teóricos fueron de 4 (Piñeros, 2014) mientras los del ensayo van de 4.3 a 4.6 y por último el valor de pH obtenido del bagazo de caña se encontró entre 6.0 y 6,2 que abarca el encontrado en la literatura de 6.1. (Piñeros, 2014)

Tabla 8. Resultados de determinación de pH

Tamiz/Fibra	Coco	Fique	Caña
Tamiz 16	5,38±0,01	4,57±0,02	6,07±0,01
Tamiz 30	5,38±0,02	4,55±0,01	6,06±0,01
Tamiz 50	5,41±0,02	4,33±0,01	6,19±0,01
Fondos	5,43±0,01	4,36±0,02	6,17±0,02

Las muestras que se encuentran en el rango de pH óptimo son MC y BC, siendo estas las más adecuadas para tomar como sustrato, para el crecimiento de *Pleurotus Ostreatus* se han citado rangos de pH óptimos entre 5.0 y 6.5, donde sustratos ácidos inferiores a 4.5 inhiben su desarrollo (Ríos, Hoyos y Mosquera Sánchez, 2010) debido a que el pH influye en su propagación pues es uno de los requerimientos que ayudan a mejorar las

características metabólicas y a su vez la capacidad para degradar los polímeros que componen el sustrato (lignina, celulosa, etc) (Sánchez, y Royse,2017).

3.1.3 Sólidos totales. En la tabla 9 se puede observar valores de humedad cercanos al 5% los cuales facilitan su manejo y almacenamiento, además basándose en estos se determina la cantidad de agua a agregar en la elaboración del material para el correcto desarrollo del hongo, por lo que su determinación es vital en la investigación.

Tabla 9. Resultados de determinación sólidos totales

Tamiz/Fibra	Coco (%)	Fique (%)	Caña (%)
Tamiz 16	5,40±0,16	6,40±0,19	4,97±0,26
Tamiz 30	5,50±0,13	5,91±0,14	5,01±0,18
Tamiz 50	4,46±0,39	5,96±0,26	5,12±0,14
Fondos	5,43±0,11	5,92±0,06	5,21±0,03

3.1.4 Análisis bromatológico. Los resultados del análisis bromatológico se reportan en los anexos A, B y C y se condensan en la tabla 10, allí se comparan los valores obtenidos con teóricos encontrando una alta discordancia, principalmente en los análisis de celulosa, hemicelulosa y lignina de importancia en este estudio, por esto se optó por tomar los valores experimentales ya que los teóricos están sujetos a factores desconocidos como las variedades, estados de madures o tratamientos. Por otro lado, al no ser posible la cuantificación del carbono y nitrógeno en las muestras se tomó estas de teoría para establecer las relaciones C/N que se desean trabajar.

Tabla 10. Caracterización química de BF, BC y MC

Parámetros	BF	BF	BC	BC	CC	CC
Proteínas (%)	5,28	4,38	13,9		1,08	
Lípidos (%)	2,78	4,13	2,69		0,14	1,12
Holocelulosa (%)		63,98				
Celulosa (%)	35,05		32,8	57 / 55,2	61,97	38,44
Hemicelulosa (%)	6,80		21,4	20 / 16,8	10,48	24,54
Carbohidratos (%)	38,21	6,94	35,8		71,59	
Lignina (%)	5,37	15,76	6,51	19 / 25,3	13,31	31,84
Carbono (%)		35,58		*48,58		43,04
Nitrógeno (%)		1,32		*0,2		0,31
Fuente	a	b	a	b/c/*d	a	e

Fuente: ^(a) Autores, ^(b) (Piñeros, 2014), ^(c) (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012), ^(d) (Manals, Penedo, & Salas, 2015) ^(e) (Basu, G., Mishra, L., Jose, S., & Samanta, A. K, 2015)

3.2 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE PLEUROTUS OSTREATUS EN LAS FIBRAS DE COCO, BAGAZO DE FIQUE Y BAGAZO DE CAÑA

3.2.1 Estandarización del medio de cultivo. los resultados de los ensayos preliminares se muestran a continuación.

3.2.1.1 Ensayo con sobrenadante y precipitado de solución de fibras. Como primer resultado se obtuvo que los ensayos con mejores dispersiones fueron sobrenadantes al 20% y precipitado al 5%, estos se usaron en la preparación de medios para la inoculación del hongo, luego de 15 días de incubación no se presentó crecimiento lo que se atribuyó a un déficit de sustrato (fibras), además el proceso de obtención del sobrenadante y precipitado resulta altamente tedioso por lo que en adelante se trabaja con fibra seca de los fondos bajo el tamiz 50.

3.2.1.2 Ensayo con diferentes fuentes de nitrógeno y mayor contenido de fibra. Los resultados del ensayo se condensan en la tabla 11, en esta se evidencia una clara disposición de la peptona a presentar mayores crecimientos, por esto fue elegida como fuente de nitrógeno en los posteriores ensayos. También de este procedimiento resultó un nuevo contratiempo y fue el bajo crecimiento del hongo en el BF en las tres fuentes de nitrógeno.

Tabla 11. Estado de crecimiento en 15 días de incubación

Nitrógeno\Fibra	MC	BF	BC
(NH ₄) ₂ SO ₄	bajo	nulo	bajo
NH ₄ Cl	bajo	nulo	bajo
peptona bacteriana	alto	bajo	alto

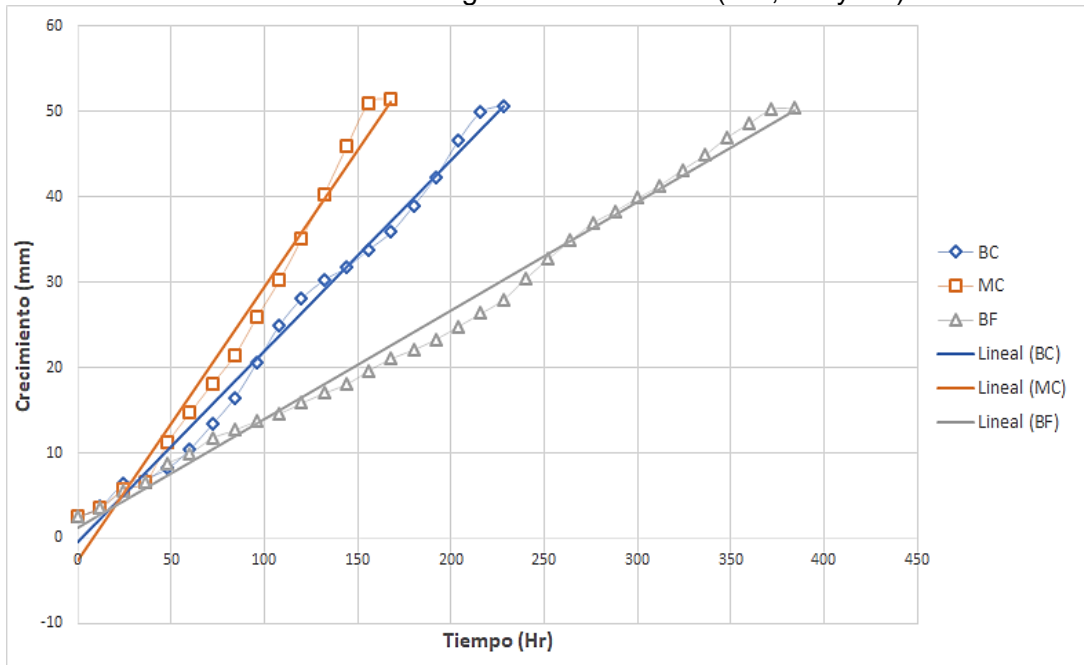
3.2.1.3 Ensayo con diferentes pretratamientos en fibra de fique. La totalidad de pretratamientos presentaron áreas similares con un crecimiento bajo, se optó por utilizar el lavado siendo el más sencillo de realizar pues en los restantes (autoclavado y lavado-autoclavado) se hace necesario mucho más tiempo y equipos.

3.2.2 Determinación de la cinética de crecimiento. Como observamos en la figura 18 los tres tipos de fibra (MC, BC y BF) tienen comportamientos diferentes representados en la pendiente de sus rectas las cuales presentan diferencias significativas entre todos los tratamientos ($p > 0,05$) (anexo d) y además tuvieron un buen ajuste con un valor R superior a 0,98, también se evidencia la característica fase de adaptación o latencia las primeras 36 horas de seguimiento en donde los valores experimentales se alejan de la pendiente teórica, este comportamiento puede asociarse a la producción de enzimas por parte del

hongo para posibilitar la asimilación de nutrientes de los residuos usados como sustrato (Martínez et al., 2015).

Respecto a las cinéticas de crecimiento de los residuos se evidencia que el MC tiene la mayor velocidad lo que puede atribuirse a su alto contenido de lignina (tabla 10) pues el *Pleurotus Ostreatus* es principalmente degradador de esta (Coello, 2011), su carácter lignolítico se da por la presencia de lignazas que le permiten degradar este compuesto y al existir una alta proporción en el sustrato su crecimiento se ve mejorado, el BC por su parte a tener menor cantidad de lignina presenta una menor velocidad de crecimiento que no se aleja demasiado del MC, por su parte el BF presenta una velocidad mucho menor, obteniendo una colonización completa del medio en el doble de tiempo, esto pudo ocurrir por el bajo pH del residuo el cual no permite la correcta actuación de las enzimas dificultando la alimentación del hongo.

Figura 18. Crecimiento micelar del hongo en los sustratos (MC, BC y BF)



Donde se presentan las ecuaciones:

$$\text{MC: } y = 0,3196x - 2,579 \quad R^2 = 0,98;$$

$$\text{BC: } y = 0,2245x - 0,4929 \quad R^2 = 0,9903 \text{ y}$$

$$\text{BF: } y = 0,1273x \pm 1,1716 \quad R^2 = 0,992$$

Según la figura 18 el cultivo del hongo en el sustrato con MC llenó la caja de petri en 168 horas y el BC en 228 horas, valores entre los cuales se encuentran los reportados donde se logró una colonización completa en 192 horas usando sustratos con cascarrilla de arroz, cáscara de maracuyá y su combinación (Coello et al., 2017), esto supondría una viabilidad para el cultivo del hongo en los sustratos con MC y BC los cuales incluso mejoran las condiciones de cultivo que en los agares PDA, OGY y Sabouraud en los que

se obtuvo una colonización completa de las cajas de petri en 240 horas, 288 horas y mayor a 336 horas respectivamente (Suárez y Holguín, 2011).

El BF colonizo la caja en 384 horas valor mucho mayor a las dos fibras estudiadas y a los reportes antes mencionados, este solo supera reportes de crecimiento de *Pleurotus Ostreatus* sobre residuos agroindustriales en combinación con granos de cebada en donde se completa la colonización en 20 días (480 horas) (Rios, Hoyos, & Mosquera, 2010) lo que supone un alto tiempo de espera en el proceso el cual es indeseable por lo que su uso en la elaboración del material compuesto no es factible por lo tanto no será estudiado en adelante.

3.3 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS OBTENIDOS POR COLONIZACIÓN FÚNGICA POR PLEUROTUS OSTREATUS.

3.3.1 Análisis termogravimétrico (TGA). En la figura 19 se puede observar que la mayor pérdida de masa, para todas las muestras estudiadas se produjo en los rangos de temperatura de 200 y 400 °C. Observándose que entre los residuos vegetales el que más se descompuso fue el bagazo de caña y entre los materiales compuestos obtenido fue el material de bagazo de caña el que se descompuso en su totalidad antes de completar los 600°C.

Figura 19. Resultado del TGA de las fibras (MC y BC), los materiales obtenidos (material MC y material BC) y el hongo (*Pleurotus Ostreatus*)

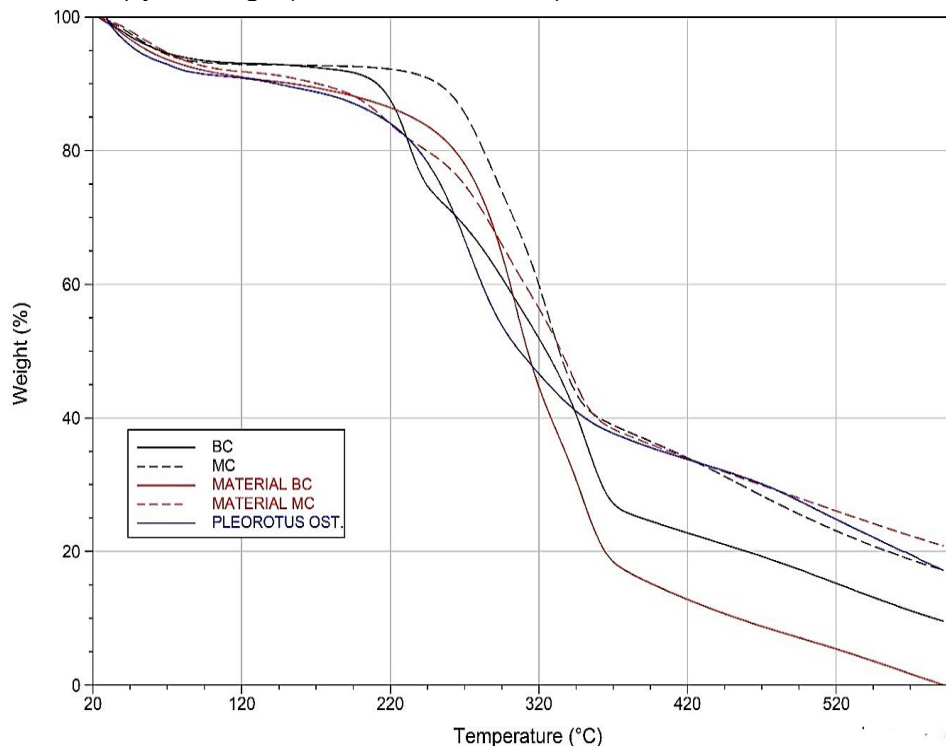
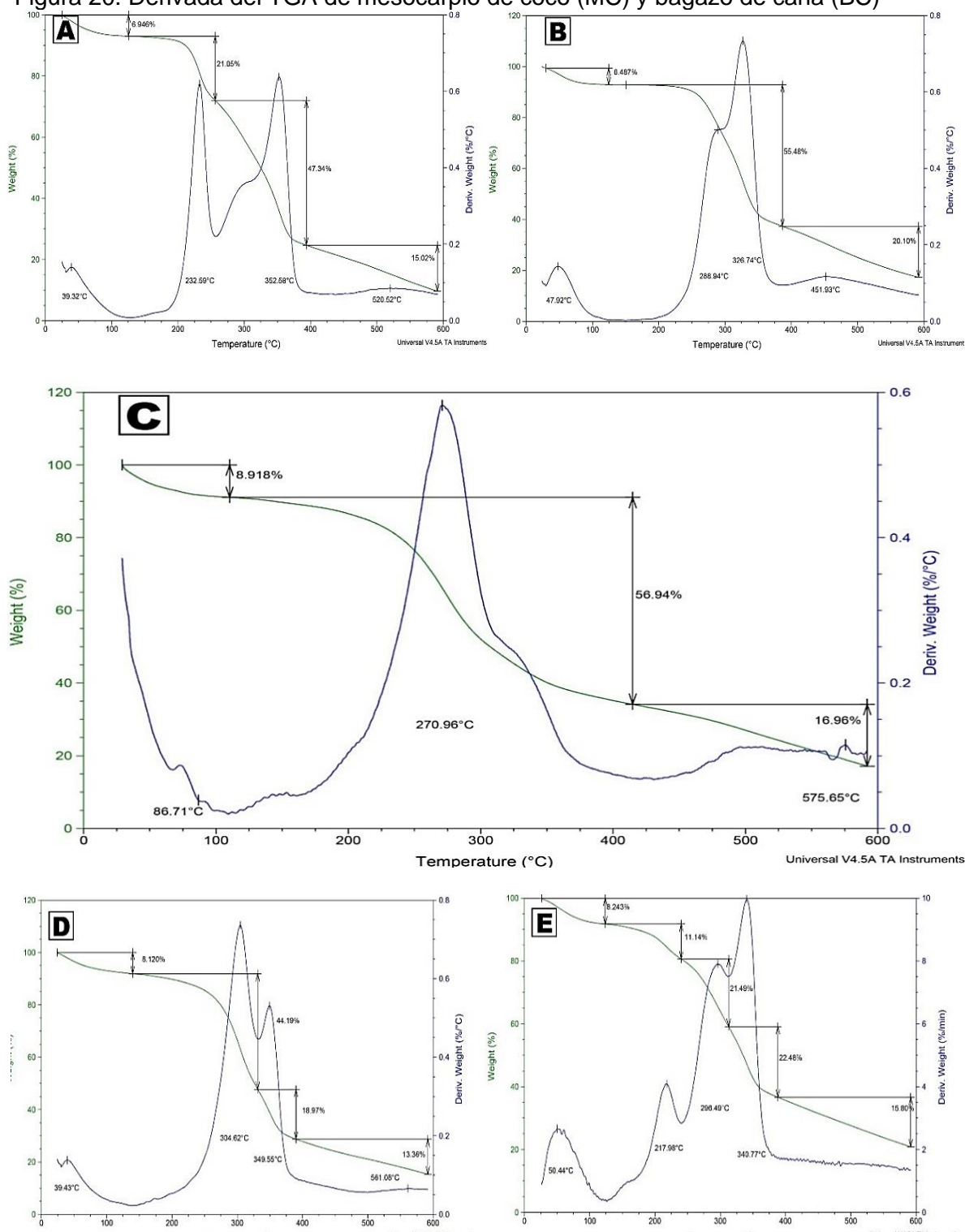


Figura 20. Derivada del TGA de mesocarpio de coco (MC) y bagazo de caña (BC)



Dónde: A: MC, B: BC, C: Hongo Pleurotus o, D: material compuesto de caña (BC) y E: material compuesto de coco (MC)

Las muestras A y B en la zona de temperatura de los 120°C pierde respectivamente cerca del 6.9% y 6.5% de su masa, esta pérdida se trata principalmente de la pérdida de humedad. Entre los 200°C y 400°C se produce una descomposición casi completa de las muestras, teniendo el bagazo de caña la mayor pérdida de masa con 68.39% en comparación al mesocarpio de coco que tuvo 55.48%. la temperatura máxima correspondiente a la mayor pérdida de cada muestra es de 352.58°C y 325.74°C respectivamente. Otra zona importante de pérdida de masa corresponde a temperaturas entre 450 y 520 °C, donde debe ocurrir la descomposición de la lignina, componente minoritario en el bagazo de caña.

En la descomposición del hongo la gráfica nos marca una temperatura de 86.71 °C donde muestra una pérdida de peso de 8.9% atribuida a la desorción de agua o pérdida de humedad superficial. La zona fundamental de descomposición tuvo lugar en 200 y 350 °C donde el pico más elevado fue a los 270.96°C y perdió el 56.94% de su masa. Otro pico máximo es a los 575.65 °C donde ocurre la pérdida de masa de 16.96%.

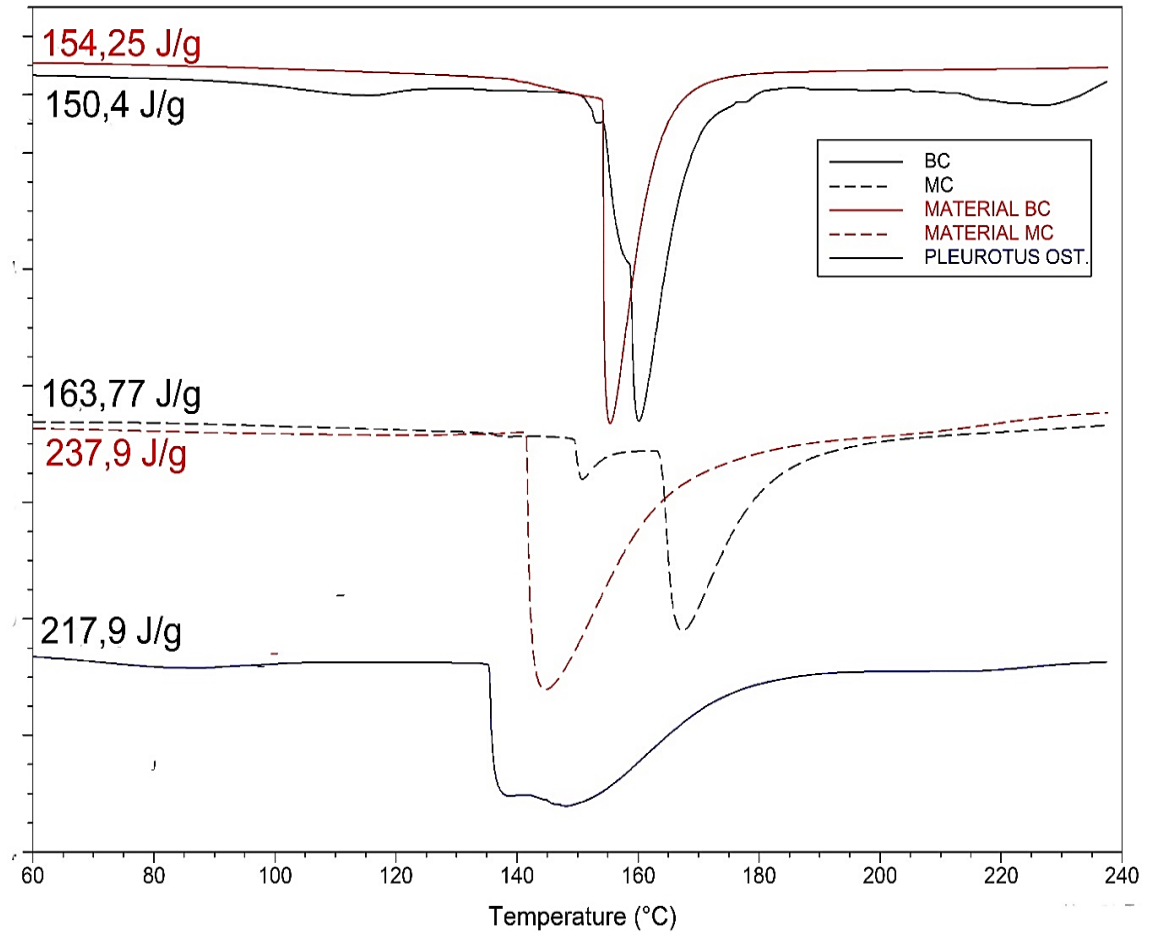
El análisis termogravimétrico para la muestra D y E indica que la pérdida fundamental de masa que fue de 63.19% y 55.11% respectivamente, ocurrió entre los 140 y 400°C; con picos de temperatura máximas de 304 y 340 °C. Si se hace la comparación de las gráficas frente a la descomposición de sus componentes encontramos que en la gráfica D se puede observar el cambio de temperatura respecto a la gráfica A, donde notoriamente la segunda etapa de degradación empieza a los 304.62°C, mientras que la otra presenta un cambio desde los 232.59°C, lo que nos lleva a confirmar que si hubo una degradación por parte del hongo de los componentes principales como lo es la celulosa y la lignina, que empiezan su degradación por encima de los 240°C y 280°C respectivamente (Mohan, Pittman, y Steele, 2006).

La gráfica E nos muestra un cambio menor en comparación con la gráfica B, donde posiblemente la etapa de degradación de componentes de la muestra empieza desde los 217.98°C, esto se puede deber a que el hongo no efectuó totalmente la degradación de la fibra de coco debido a la gran cantidad de lignina que esta posee. (Salvador, 2010). Después de los 400°C se dice que en esta etapa del proceso la mayoría son compuestos volátiles ligeros, de relativamente bajo peso molecular y que en su mayoría proceden de la hemicelulosa presente y que a temperaturas más elevadas comprendidos desde los 450°C suceden las reacciones más fuertes de ruptura de las cadenas de los compuestos fundamentalmente celulosa y lignina (Antolin, G. y Oliva, D., 2015), esto podría explicar el alto contenido de residuos en las muestras de coco (cerca al 20%) pues estos presentan mayor contenido de lignina la cual sería más difícil de degradar, además en el material de caña se observa como la acción del hongo ha degradado los componentes fuertes y presenta una descomposición casi total mientras las fibras quedan con un porcentaje cercano al 10% de residuos.

3.3.2 Calorimetría diferencial de barrido (DSC). La figura 21 muestra el comportamiento de las diferentes muestras en el ensayo de DSC, de manera general se observa un comportamiento similar en los primeros dos pares de muestras; el primero (BC

y material BC) tienen picos muy pronunciados a temperaturas similares disminuyendo en aproximadamente 5°C la temperatura característica, las dos en segundo el segundo lugar (MC Y material MC) tienen un comportamiento similar pero con una diferencia en la temperatura en su pico de aproximadamente 30°C y un área mucho menor para el MC, en ambos casos se observan las líneas rojas que representan el material con una tendencia hacia la izquierda lo que nos indica que la acción del hongo sobre las fibras debilita su estructura haciéndolas más vulnerables ante una acción térmica haciendo necesaria menos temperatura para su degradación.

Figura 21. Resultado del DSC de las fibras (MC y BC), los materiales obtenidos (material MC y material BC) y el hongo (Pleurotus Ostreatus)



De los picos endotérmicos presentes en la gráfica (desde 130°C hasta 200°C aproximadamente) se puede asumir que en estas temperaturas se evaporan el agua, compuestos volátiles de la hemicelulosa y celulosa concordando con reportes en donde se encontró que en temperaturas cercanas a los 100°C se evaporan el agua y compuestos hemicelulósicos y en el rango de 170°C a 250°C se liberan compuestos ligeros de celulosa (Antolín y Deny, 2003), también se reporta que celulosa obtenida

experimentalmente presenta picos de liberación de agua en torno a los 120°C (Cataño, 2009).

De igual manera algo que comparten los estudios citados es la extensión del barrido ya que en ambos casos supera los 450°C y se encuentra una nueva fase endotérmica debida a la fusión de la celulosa y craqueo de fracciones de lignina entre 320°C y 370°C (Antolín & Deny, 2003) y de 330°C a 360°C (Cataño, 2009), este nuevo pico no fue reportado en nuestro estudio pues el equipo usado no posibilita dicho rango por lo que se realizó el ensayo hasta los 240°C.

Finalmente, las entalpías encontradas para las gráficas entre los 130°C y 200°C pueden corroborar una degradación parcial de la celulosa y lignina haciendo que estas se fraccionen y aumente la energía necesaria en las curvas a temperaturas bajas, este supuesto se podría corroborar en estudios del mismo tipo que abarquen las temperaturas superiores para verificar el descenso del área en la sección de la celulosa y lignina.

3.3.3 Resistencia a la compresión. La tabla 12 muestra los resultados del ensayo de compresión a cada material obtenido el del EPS (material a comparar), la totalidad de las muestras presentan diferencias significativas (anexo e) lo que nos demuestra que cada material tiene propiedades diferentes, siendo MC16 la muestra con mayor resistencia al esfuerzo de compresión con un valor de 36,40 kPa que, en comparación a valores teóricos encontrados en estudios de otros materiales compuestos por micelio fúngico, se encuentra dentro de un rango posible que es de 35 a 100 kPa. (López et al. 2016) (Ochoa, 2017). Cercano a estos valores se encuentra la muestra BC16 con un valor de resistencia de compresión de $24,64 \pm 1,22$, que comparado con MC16 podemos decir que la muestra de mesocarpio de coco al tener un mayor contenido de lignina en su composición su degradación en la colonización del hongo no fue totalmente lo que le permite aportar propiedades de refuerzo.

Tabla 12. Resultados resistencia a la compresión

Material	Modulo (kPa)
EPS	112,72±1,16
MC16	35,57±1,19
MC50	14,50±0,74
BC16	24,85±1,06
BC50	8,32±0,71

En cuanto a las muestras MC50 Y BC50 se logra observar que se tiene un descenso de la resistencia en comparación a las muestras MC16 y BC16, se debe a que el tamaño de partícula usado para estas muestras es menor, lo que hace que la densidad de estos sea mayor pero su fragilidad también incrementa debido a la reducida relación de aspecto del sustrato (Tudryn, 2014). Lo que nos lleva a analizar que las partículas gruesas (fibras) confieren mayores desempeños de resistencia, debido a que las fibras de mayor diámetro

se distribuyen de manera desordenada dentro del molde lo que permite que el hongo tenga mejor aireación y haya una mejor colonización, caso contrario con las fibras de menor tamaño, ya que al ser tan pequeñas se ordenan y evita que haya un paso de aire por todo el molde y hace que al hongo le sea más difícil colonizar su interior, obteniendo como resultado, un material colonizado superficialmente. El valor de resistencia al esfuerzo de compresión del EPS fue de $111\pm 3,34$ kPa, que comparado con los resultados tiene una mayor resistencia que los materiales obtenidos, esto se debe a que el EPS presenta un comportamiento viscoelástico. Además, el esfuerzo a la compresión en estos materiales depende de la densidad, ya que cuanto mayor sea esta mayor resistencia a la compresión.

3.3.4 Ensayo de flexión. La tabla 13 nos muestra los resultados del ensayo de flexión en donde las 5 pruebas tuvieron diferencias significativas (anexo f), estas muestran una clara diferencia entre los tipos de fibra siendo el mesocarpio de coco el que tiene mayor resistencia en ambos tamaños de partícula respecto al bagazo de caña, en cuanto al tamaño de las fibras en ambos tipos se da una relación proporcional entre este y la resistencia a la flexión siendo que un menor tamaño de partícula produce una menor resistencia concordando con los datos obtenidos en literatura donde un material compuesto con fibra de coco mejora su resistencia a la flexión cuando aumenta la longitud de la fibra (Quintero y González, 2011) y corrobora el análisis de relación aspecto donde las fibras de coco son las de mejores características.

Tabla 13. Resultados ensayo de flexión

Material	Modulo (kPa)
EPS	2782,85±2,96
MC16	352,45±3,69
MC50	196,06±3,62
BC16	114,29±3,98
BC50	73,75±3,73

Por otro lado el material sintético analizado (EPS) tiene una resistencia 9 veces mayor al material con mejores características (MC-16) con una módulo de 2782 kPa los cuales concuerdan con la literatura en donde se reporta un valor de 2860 KPa (Barrera, 2016), esta diferencia con los materiales obtenidos puede deberse a la relación entre densidad y características físicas en donde una mayor densidad sugiere mejores propiedades, además el carácter homogéneo del EPS lo hace mucho más uniforme en su estructura mejorando su resistencia.

3.3.5 Densidad aparente. La densidad, es una característica primordial en este tipo de materiales, esta permite diseñar componentes ligeros y de buena rigidez. Si se realiza una comparación entre los resultados del ensayo, se puede observar que los materiales elaborados con el tamiz 50 tuvieron una densidad mayor, que los del tamiz 16, esto puede deberse a que las fibras con menor tamaño se ordenan mejor, logrando así un mayor peso en un mismo volumen. Además, si se compara el EPS con el resto de resultados se

obtiene que todos estos valores están por debajo de la densidad del EPS, se puede especular que el material obtenido es mejor en términos de densidad pues nos permite obtener componentes más ligeros.

Tabla 14. Resultados densidad

Material	Densidad (Kg/m ³)
EPS	23,04+0,15
MC-16	14,51+0,12
MC-50	15,96+0,10
BC-16	13,84+0,11
BC-50	14,72+0,09

4. CONCLUSIONES

Las fibras de coco por sus altos valores de relación aspecto (entre 16 y 27) y mayor dureza otorgada por el mayor contenido de lignina (13,31%) son las más adecuadas para usar como sustrato del hongo en la elaboración del material compuesto, esto se confirma en las pruebas mecánicas ya que los materiales con coco presentan mayor resistencia en los análisis.

Los residuos que posibilitan el crecimiento del hongo son el mesocarpio de coco y bagazo de caña pues su pH se es de 5,3 a 5,5 (MC) y 6 a 6,2 (BC) los cuales se encuentran en el intervalo apropiado para su desarrollo (5 a 6,5), por su parte el bagazo de fique no presenta un valor apropiado para su propagación (4,3 a 4,6) lo que se evidencia en los ensayos preliminares y en las pruebas de crecimiento radial donde fue el residuo con menor crecimiento.

El crecimiento radial del MC tuvo una mayor velocidad (0,32 mm/H), esto pudo deberse al mayor contenido de lignina pues el hongo se caracteriza por usar esta como sustrato y al tener mayor cantidad el hongo puede acceder a ella más fácilmente, el BC tiene una velocidad menor (0,22 mm/H) lo que se puede atribuir a su menor contenido de lignina y por su parte el BF presento la menor velocidad de colonización (0,13 mm/H) lo que pudo deberse al bajo pH del residuo que impedía el correcto desarrollo del hongo, por eso no se tuvo en cuenta en la elaboración del material ya que al ocupar más tiempo en esta etapa supone aumentar los tiempos de producción que no es deseable en la industria.

La prueba de DSC muestra que las fibras, materiales y el hongo tienen materiales volátiles ligeros que se evaporan entre los 170°C y 250°C, entre estos de evidencia también que la acción del hongo debilita las fibras haciéndolas más vulnerables a la temperatura, por otro lado, las entalpías para los materiales en ambos casos son mayores que las fibras (154 material BC, 150 BC, 237 material MC y 163 MC) lo que sugiere un aumento de la porción volátil a temperaturas bajas (170°C - 250°C) debido a la ruptura de moléculas más grandes como la lignina y celulosa .

La caracterización de propiedades mecánicas y físicas tiene un gran impacto, ya que son esenciales para analizar la resistencia y rigidez de los materiales compuesto reforzados con fibras. Estas propiedades dependen enormemente de la naturaleza de la fibra. Es el caso de las dos fibras reportadas en este trabajo que, a pesar de tener el mismo procedimiento de elaboración, presentaron diferentes propiedades, como es el caso de la compresión donde se obtuvo que el mesocarpio de coco proporciono un mayor esfuerzo de compresión que el bagazo de caña, esto debido a que las fibras de coco tienen mayor contenido de lignina lo que las hace más resistentes.

El ensayo de flexión muestra que los tratamientos con MC tienen mejores resultados que el BC esto posiblemente debido al mayor contenido de lignina que otorga una mayor

dureza a las fibras y a la mayor relación aspecto que permite una mejor adhesión a lo largo de las probetas, respecto a los tamaños de partícula se evidencia una mayor resistencia a mayor tamaño lo que se explicaría con una mayor adhesión interfibril a lo largo de la probeta.

5. RECOMENDACIONES

Se haría necesario una determinación del contenido de saponinas en el bagazo de fique para evaluar el efecto de la presencia de estas en el desarrollo del hongo.

Se recomienda evaluar el comportamiento de tamaños de partícula más grandes para evaluar el crecimiento del hongo pues se demostró que incrementando este valor se obtienen mejores propiedades.

Basándose en los reportes de otros autores se haría necesario un barrido mucho más amplio (que comprenda al menos hasta los 450°C) para evidenciar la descomposición de la lignina y celulosa los cuales se degradarían a temperaturas alrededor de 350°C.

BIBLIOGRAFÍA

AMAR, K., MANJUSRI, M. y LAWRENCE, T. (2005). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. En: CRC Press, 2005, vol. 1, pág. 59-61

ANTOLÍN, G. y DENY, O. Caracterización del bagazo de caña de azúcar mediante análisis térmico. En: Información Tecnológica, 2003, vol. 14, no. 4, pág. 91–96.

ANTOLIN, G. y OLIVA, D. Characterisation of sugar cane bagasse. Departamento de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Valladolid, Habana – Cuba, 2015.

ARDÓN, C. La producción de los hongos comestibles. Universidad San Carlos de Guatemala, facultad de humanidades, departamento de postgrado maestría en docencia universitaria con especialidad en evaluación educativa, Guatemala, 2007, pág. 47-48

ARIFIN, Y. y YUSUF, Y. Mycelium fibers as new resource for environmental sustainability. En: Procedia Engineering, 2013, vol: 53, pág. 504–508.

ASEF, M. Intersterility groups of *Pleurotus ostreatus* complex in Iran [en línea]. En: Mycology. 2012, vol. 3, pág. 147-152 [citado 8 de marzo 2019]. Disponible en: 10.1080/21501203.2012.659683

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. EN 13037- Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del pH, 2012

ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D695-15. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics [en línea]. En: Annual Book of ASTM Standards, 2015, vol. 1, pág. 1–8 [citado junio, 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1520/D0695-15.2>

ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.. Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics-D1622, 2014a. En: ASTM International, 2014a

ASTM-AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D790 – 17 - Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. [en línea]. En: Annual Book of ASTM Standards, 2017 [citado junio, 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1520/D0790-17.2>

ASTM-AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D695 -15 Compressive Properties of Rigid Plastics. [en línea]. En: anual Book of ASTM Standards, 2015, vol. 1, pág. 1–8. [citado junio, 2019]. Disponible en internet en: <http://doi.org/10.1520/D0695-15.2>

ASTM-AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E1131 – 08. Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry. [en línea] En: ASTM International, 2014 [citado junio, 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1520/E1131-08R14.2>.

BARRERA, G. Caracterización de las propiedades mecánicas y térmicas de muestras de EPS pos consumo, utilizadas en la industria de alimentos y sometidas a un proceso de recuperación. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Maestría en Ingeniería Mecánica, Bogotá, Colombia, 2016, pág. 143.

BASU, G., MISHRA, L., JOSE, S. y SAMANTA, A. Accelerated retting cum softening of coconut fibre [En línea]. En: *Industrial Crops and Products*, 2015, vol. 77, pág. 66–73. [citado el 30 agosto 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.012>

BETANCOURT, D. y SOLANO, J. Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (EPS) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes [En línea]. En: *Luna Azul*, vol. 43, no. 43, pág. 286–310 [citado 18 agosto 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.13>

BIKANDI, J. Cinética de la fase exponencial de la curva de crecimiento microbiano. Universidad del país vasco, departamento de inmunología, facultad de farmacia. España, 2014, pág. 8.

CASTRILLÓN, O., BEDOYA, O. y MONTOYA, D. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. Universitaria Lasallista, Caldas, 2006.

CATAÑO, E. Obtención y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de desechos agroindustriales. Universidad Nacional De Colombia, Facultad De Minas Escuela De Procesos Y Energía, Sede Medellín, 2009, pág. 24-25.

CHAWLA, K. *Composite Materials: Science and Engineering*. En: Alabama: Springer. 2012. Vol. 3, pág. 512.

COELLO, C., AVELLANEDA, J., BARRERA, A., PEÑA, M. M., YÉPEZ, P. y RACINES, E. Evaluación del crecimiento y producción de biomasa de dos cepas del género. En: *Ciencia y Tecnología*, 2017, vol. 10, no. 2, pág. 33–39.

COELLO, J. Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para la biorremediación de suelos. Escuela superior politécnica de la litoral, facultad de ingeniería marítima, ciencias biológicas, oceánicas y recursos naturales. Guayaquil, Ecuador, 2011, pág. 4-8.

COLOMBIA. MINSITERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE MMADS. Ey 340 de 2018. Por ka cuak Diario Oficial No.- de fecha: Bogota D.C. , Colombia: 30, abril, 2018.

DEBORAH, D. *Engineering Materials and Processes. Composite Materials Science and Applications*. En: Springer, 2010, vol. 1, pág. 1-32.

FARUK, O., BLEDZKI, A. K., FINK, H. P. y SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010 [en línea]. En: *Progress in Polymer Science*, 2012, vol. 37, no. 11,

pág.1552–1596 [citado el 30 agosto de 2019] Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>

FERNÁNDEZ, F. Programa para el diseño de mezclas de residuos agrícolas para el cultivo del hongo *Pleurotus*. *Tecnología Química*, 2014, vol. 34 no. 2, pág. 158–169.

FURKAN H. y REMZI B. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers [en línea]. En: *Polymer Chemistry*, 2015, vol. 6, pág. 4497–4559 [citado el 30 de agosto de 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1039/c5py00263j>

GÍRIO, F., FONSECA, C., CARVALHEIRO, F., DUARTE, L. C., MARQUES, S. y BOGEL-ŁUKASIK, R. Hemicelluloses for fuel ethanol: A review [En línea]. En: *Bioresource Technology*, 2010, vol. 101, no. 13, pág. 4775–4800. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.088>

HOLT, G., MCINTYRE, G., FLAGG, D., BAYER, E., WANJURA, J. y PELLETIER, M. Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material: Evaluation study of select blends of cotton byproducts [En línea]. En: *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2012, vol. 6 no 4, pág. 431–439. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2012.1241>

ILLANA C. Hifas De Hongos Como Material De Empaquetado Y De Construcción. En: *Yesca*, 2014, vol. 26, pág. 21-26.

JAWAID, M. y SABA, T. Mechanical and physical testing of biocomposites, fibre-reinforced composites and hybrid composites. En: *Woodhead Publishing*, 2019, vol. 1, pág. 14-15

JONES, M., HUYNH, T., DEKIWADIA, C., DAVER, F. y JOHN, S. Mycelium composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics. En: *Journal of Bionanoscience*, 2017, vol. 11, pág. 241-257.

JULIÁN, A., REYES, R., y EGUCHI, F. Agro-Industrial Waste Conversion Into Medicinal Mushroom Cultivation [En línea]. En: *In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2018, vol. 2. [citado junio 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11042-5>

Kar, K. *Composite Materials: Processing, Applications, Characterizations*. En: *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2017, vol. 1. pág. 3-8.

KUMAR, V. y KESSLER, M. *Green biorenewable biocomposites*. En: *CRC press*, 2015, vol. 1. Pág. 38-40.

LIU, L. Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de *Rosmarinus officinalis* L. en vivero profesional. *Universitat Politècnica de València, escola tècnica superior d'enginyeria agronòmica i del medi natural*, Valencia, 2015, pág. 12-17.

LÓPEZ, J., MÉNDEZ, J., RUELAS, C. y NÁJERA, A. Assessment of edible fungi and films bio-based material simulating expanded polystyrene. *Materials and Manufacturing Processes*, 2016, vol. 31, pág. 1085-1090.

MACÍAS, G., VEANA, F., CONTRERAS, J. C., AGUILAR, C. y RODRÍGUEZ, R. Cinética de crecimiento de *Fusarium oxysporum* cultivado en diferentes niveles de glucosa y pectina. *Investigación y Ciencia*, 2016, pág. 21–25.

MARTÍNEZ, A., ESPERANZA, M., RUIZ, F., FERREIRA, P., CAMARERO, S., GUILLÉN, F., MARTÍNEZ, M., y GUTIÉRREZ, A. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. En: *International microbiology: the official journal of the Spanish Society for Microbiology*, 2005, vol. 8, pág. 195-204.

MARTÍNEZ, D., BUGLIONE, M., FILIPPI, M., REYNOSO, L., RODRÍGUEZ, G. y AGÜERO, M. Mycelial growth evaluation of *Pleurotus Ostreatus* and *Agrocybe aegerita* on pear pomaces. *Anales de Biología*, 2015, vol. 37, pág. 1–10.

MOHAN, D., PITTMAN, CH., y STEELE, P. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. En: *Energy & Fuels*, 2006, vol. 20, pág. 848-889

MONTE, M. Oxalate film formation on marble specimens caused by fungus [en línea], 2003, vol. 4, pág. 255–258. Disponible en internet en: [https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(03\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(03)00051-7)

MORTENSEN, A. Composite Materials [En línea]. En: Amsterdam: Elsevier, 2007, vol. 2. Pág, 135-137 [citado 18 junio 2019]. Disponible en internet en: [//doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004)

NAVIA, D. Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique. Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Maestría en Ingeniería de Alimentos, Santiago de Cali, 2011, pág. 54.

NAVIA, D., y BEJARANO, N. Evaluation of Physical Properties Ofthermopressing Bioplastics Made from Cassava Flour. En: *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2014, vol. 12, no. 2, pág.40–48.

Nombre titulo----- unovers-----facultadd-----ciudad-----año

OCHOA, N. Estudio sobre la evaluación y análisis de las características físico-mecánicas y apreciativas de un biopolímero conformado de micelio de hongo ostra y desechos de mimbre. Universidad de Chile, Facultad de arquitectura y urbanismo, 2017, pág. 71.

OLMO, O., GUTIÉRREZ, A., HERRERA, M., CABO, O., POLO, G., y RODRÍGUEZ, N. Bagazo De La Caña De Azuca Propiedades. Retrieved from Ouarhim, W., Zari, N., Bouhfid, R., y Qaiss, A. el kacem. Mechanical performance of natural fibers–based thermosetting composites. En: *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, 2018, pág. 43–60.

PARK, S., y SEO, M. Types of Composites. Interface [En línea]. En: Science and Technology, 2011, vol. 18, pág. 26-31 [ciatdo enero 2019]. Disponible en internet en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375049-5.00007-4>

PEINADO S. y JESÚS E. Actualización, ajuste y validación de la guía ambiental del subsector figuero. Universidad de la Salle y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 130p. Bogotá D. C.

PEREIRA, G., CAMPOS, J., CHAVEZ, D., ANABALON, L., y ARRIAGADA, C. Caracterización del crecimiento miceliar del hongo ectomicorrícico. Quebracho. En: Revista de Ciencias Forestales, 2014, vol. 22, pág. 30–39.

PIÑEROS, Y. Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica, algunas experiencias de investigación en Colombia. Bogotá D.C., 2014.

QUINTERO S., y GONZÁLEZ L. Uso de Fibra De Estopa De Coco Para Mejorar las Propiedades Mecánicas Del Concreto. En: Ingeniería & Desarrollo. 2006, vol. 20, pág. 134-150.

QUINTILANA, M. Industrialización de la Fibra de Estopa de Coco. Universidad de el salvador, Facultad de ingeniería y Arquitectura. San Salvador. 2010

RÍOS, M., HOYOS, J., & MOSQUERA, S. Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus Ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. En: Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA, 2010. Vol. 8, no. 2, pág. 86–94.

RÍOS, W. F., VALDEZ, R. A., y JIMÉNEZ, J. P. Isolation, propagation and growth of native edible fungi in agroindustrial residues. En: Scientia Agropecuaria, 2017, vol. 8 no. 4, pág. 327–335.

RODRÍGUEZ, I., y PIÑEROS, Y. Producción de complejos enzimáticos Celulolíticos Mediante El Cultivo En Fase Sólida De *Trichoderma* sp. sobre los racimos vacíos de palma de aceite como sustrato. En: Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica, 2007, vol. 14 no. 2, pág. 35–42.

RUIZ, M., PASTOR, K., y ACEVEDO, A. Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. En: Información Tecnológica, 2013, vol. 24 no.2, pág. 47–56.

Ryan, P. Una breve historia de la investigación sobre desechos marinos. En: Basura antropogénica marina, 2015, pág. 1–25.

SÁNCHEZ, J. y ROYSE D. La Biología, el cultivo y las propiedades nutricionales y medicinales de las setas *Pleurotus* spp. En: Edible mushroom cultivation View project oxidoreductases enzymes View project. 2017

SANDOVAL, M., ZAPATA, M., QUEZADA, J., SOLÍS, A., y SANDOVAL, M. Efecto de la aplicación de fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) en el almacenamiento y eficiencia del uso

del agua en un Alfisol, sembrado con ballica (*Lolium multiflorum* L.) y en la toxicidad en lechuga (*Lactuca sativa* L.). En: *Agro Sur*, 2013, vol. 41, no. 3, pág. 1–11.

SCOTT, G. *Polymers in modern life*. En: *Polymers and the Environment*. Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry, 1999, pág. 1-18.

STANDARD METHODS COMMITTEE. Solids 2540. En: *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*, 1997, pág. 55–61.

SUÁREZ, C. y HOLGUÍN, M. Evaluación de medios de cultivo sintéticos y cereales para la producción de semilla de setas comestibles. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2011, vol. 5, no. 1, pág 130–140.

TUDRYN, G., A Formaldehyde-Free, Sustainable Alternative for The Engineered Wood Industry. En: *Radtech Report*. 2014. vol. 2, p. 40-45.

VILLADA, H., ACOSTA, H., y VELASCO, R. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. En: *Temas Agrarios*, 2007, vol. 12. no. 2. p. 5-13

VILLAS, S., ESPOSITO E. y MITCHELL D. Microbial conversion of lignocellulosic residues for production of animal feeds Review. En: *Animal Feed Science and Technology*. 2002. vol. 98. pág. 1–12.

WHITE J., CATALLO, J. y LEGENDRE, B. Biomass pyrolysis kinetics: A comparative critical review with relevant agricultural residue case studies. En: *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2011, vol. 91 no. 1, pág. 1-33.

ZULUAGA, R., CASTRO, C., y OSORIO, A. Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro. En: *Revista Colombiana de Materiales*, 2017. Pág. 01–04.

ANEXOS

Anexo A. Caracterización química de bagazo de caña.

Resultados de la solicitud de análisis T2019-38



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: Angie Marcela Muñoz

Fecha de muestreo: 2019-07-16

Observaciones: angimunoz@unicauca.edu.co 314-4256807

Número serial: T2019-38

Fecha recepción de muestras: 2019-07-17

Numero de muestras: 1

Procedencia: Popayan Cauca

Entrega de resultados: 2019-08-22

Tipo de análisis: Tejido Vegetal

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	Proteína (g/kg)	Humedad (g/kg)	MS (g/kg)	Cenizas (g/kg)	Ext.ET (g/kg)	FC (g/kg)	FAD (g/kg)	Lignina (g/kg)	Celulosa (g/kg)	FND (g/kg)	Hemicel. (g/kg)
1	Bagazo de Caña de Azúcar	13.9	53.5	947	12.7	26.9	358	393	65.1	328	607	214

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.


Autoriza:

Orlando Idárraga Castaño
 Coordinador de Calidad - Laboratorio de Servicios Analíticos
 E-mail: o.idarraga@cgjar.org
 Tel. (57-2) 445 0000 Ext. 3803

Determinación	Método
Proteína (g/kg)	Proteína (a partir de Nitrógeno total)
Humedad (g/kg)	Humedad -gravimetría
MS (g/kg)	Materia Seca -Gravimetría
Cenizas (g/kg)	Cenizas -gravimetría
Ext.ET (g/kg)	Extracto Etereo (Grasas)
FC (g/kg)	Fibra Cruda - Soxhlet gravimetría
FAD (g/kg)	Fibra Acida Detergente - Soxhlet Gravimetría
Lignina (g/kg)	Lignina - Método ácido detergente -Soxhlet Gravimetría
Celulosa (g/kg)	Celulosa (FAD-Lig)
FND (g/kg)	Fibra Neutra detergente - Soxhlet Gravimetría
Hemicel. (g/kg)	Hemicelulosa (DAD-FND)

FIN DEL INFORME

Anexo B. Caracterización química de mesocarpio de coco.

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1904	SECCIÓN DE LABORATORIOS REPORTE DE RESULTADOS	Código: LBE-PRS-FR-76
		Página: 1 de 1
		Versión: 2
		Vigente a partir de: 2014-01-15

LABORATORIO		BROMATOLOGÍA - ABONOS ORGÁNICOS					
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA		REPORTE No. LB-R-		018A-19 parcial	
Solicitante: Universidad del Cauca. Atn: Elsa Susana Cajiao Buitrón, Investigadora Grupo de investigación CYTBIA (Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial)		Muestra Fibra de coco		Código muestra		320	
Dirección: Facultad de Ciencias Agrarias, Vereda las Guacas, Vía al Penal San Isidro.		Procedencia Sustitutos ecológicos, Medellín					
cc / nit: 891500319-2		Responsable del Muestreo ^a		Jerson Alejandro Luna Córdoba, Angie Marcela Muñoz			
Teléfono: 316 4054945 (Susana Cajiao)		Fecha de Muestreo ^a		AA	19	MM	05 DD 09
e-mail: ecajiao@unicauca.edu.co;		Fecha Recepción Muestra en Laboratorio		AA	19	MM	05 DD 30
jersonluna@unicauca.edu.co		Fecha de Emisión del Reporte		AA	19	MM	07 DD 17
FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO		2019-03-14 a 2019-07-16					
ANÁLISIS SOLICITADO		Proximal, Energía, FDN, FDA, Lignina, Minerales					
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	Base Parcialm. Seca	Base Seca		
Humedad	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	6,03			
Materia seca	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	93,97			
Ceniza	Incineración mufla	Gravimétrica	g/100g	2,89	3,08		
Extracto etéreo	Extracción Soxhlet	Gravimétrica	g/100g	0,14	0,15		
Fibra cruda	Digestión ácida-básica. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	71,59	76,18		
Proteína	Kjeldahl (N*6,25)	Titulométrica	g/100g	1,08	1,15		
Extracto No Nitrogenado	Cálculo matemático	Cálculo matemático	g/100g	18,27	19,44		
Energía	Bomba calorimétrica	Calorimétrica	Kcal/100g	434	462		
Fibra Detergente Neutro	Van Soest Secuencial. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	85,33	90,80		
Fibra Detergente Ácido	Van Soest Secuencial. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	75,48	80,32		
Lignina	Van Soest Secuencial. Oxidación KMnO ₄	Gravimétrica	g/100g	12,51	13,31		
Celulosa	Van Soest Secuencial.	Gravimétrica	g/100g	61,97	65,94		
Hemicelulosa	Van Soest Secuencial.	Gravimétrica	g/100g	9,85	10,48		
Calcio	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	g/100g				
Fósforo	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g	0,04	0,05		
Magnesio	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	g/100g				
Potasio	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	g/100g				
Azufre	Oxidación húmeda, Turbidimetría	Turbidimétrica	g/100g	0,03	0,03		
Hierro	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
Manganeso	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
Zinc	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
Cobre	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
OBSERVACIONES							
Nota a		Información suministrada por el usuario					
Expresión de resultados		Con base a muestra seca					
RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA							
UNA VEZ ENTREGADO ESTE INFORME DE RESULTADOS, EL LABORATORIO DEJA DE TENER CONTROL SOBRE SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL.							

Original firmado

Gloria Sandra Espinosa Narváez. TQ-00219

Téc. Laboratorio Bromatología - Abonos Orgánicos

Elaboración del Reporte


Aprobación del Reporte

Revisó: Raquel Córdoba. PQ-5356

2019-07-17

FIN REPORTE DE RESULTADOS

Anexo C. Caracterización química de bagazo de fique.

 Universidad de Nariño FUNDADA EN 1964	SECCIÓN DE LABORATORIOS	Código: LBE-PRS-FR-76
	REPORTE DE RESULTADOS	Página: 1 de 1
		Versión: 2
		Vigente a partir de: 2014-01-15

LABORATORIO		BROMATOLOGÍA - ABONOS ORGÁNICOS					
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA			REPORTE No. LB-R- 018B-19 parcial		
Solicitante: Universidad del Cauca. Atn: Elsa Susana Cajiao Buitrón, Investigadora Grupo de investigación CYTBIA (Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial)		Muestra Fibra de fique			Código muestra 321		
Dirección: Facultad de Ciencias Agrarias, Vereda las Guacas, Vía al Penal San Isidro.		Procedencia Cultivos de la Asociación de fiqueros de Jambaló, Cauca					
cc / nit: 891500319-2	Responsable del Muestreo ^a						
Teléfono: 316 4054945 (Susana Cajiao)	Fecha de Muestreo ^a	AA	19	MM	04	DD	28
e-mail: ecajiao@unicauca.edu.co	Fecha Recepción Muestra en Laboratorio	AA	19	MM	05	DD	30
jersonluna@unicauca.edu.co	Fecha de Emisión del Reporte	AA	19	MM	07	DD	17
FECHA DE EJECUCIÓN DEL ENSAYO		2019-03-14 a 2019-07-16					
ANÁLISIS SOLICITADO		Proximal, Energía, FDN, FDA, Lignina, Minerales					
PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	Base Parcialm. Seca	Base Seca		
Humedad	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	9,36			
Materia seca	Secado estufa	Gravimétrica	g/100g	90,64			
Ceniza	Incineración mufla	Gravimétrica	g/100g	6,09	6,72		
Extracto etéreo	Extracción Soxhlet	Gravimétrica	g/100g	2,78	3,07		
Fibra cruda	Digestión ácida-básica. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	38,21	42,16		
Proteína	Kjeldahl (N*6,25)	Titulométrica	g/100g	5,28	5,82		
Extracto No Nitrogenado	Cálculo matemático	Cálculo matemático	g/100g	38,28	42,24		
Energía	Bomba calorimétrica	Calorimétrica	Kcal/100g	389	429		
Fibra Detergente Neutro	Van Soest Secuencial. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	47,91	52,86		
Fibra Detergente Ácido	Van Soest Secuencial. Bolsas Ankom	Gravimétrica	g/100g	41,11	45,36		
Lignina	Van Soest Secuencial. Oxidación KMnO ₄	Gravimétrica	g/100g	5,37	5,93		
Celulosa	Van Soest Secuencial.	Gravimétrica	g/100g	35,05	38,67		
Hemicelulosa	Van Soest Secuencial.	Gravimétrica	g/100g	6,80	7,50		
Calcio	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	g/100g				
Fósforo	Oxidación húmeda, Colorimetría	Colorimétrica	g/100g	0,06	0,06		
Magnesio	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	g/100g				
Potasio	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	g/100g				
Azufre	Oxidación húmeda, Turbidimetría	Turbidimétrica	g/100g	0,04	0,05		
Hierro	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
Manganeso	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
Zinc	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
Cobre	Oxidación húmeda, EAA	Espectroscopía A.A.	mg/Kg				
OBSERVACIONES							
Nota a		Información suministrada por el usuario					
Expresión de resultados		Con base a muestra seca					
RESULTADOS VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA							
UNA VEZ ENTREGADO ESTE INFORME DE RESULTADOS, EL LABORATORIO DEJA DE TENER CONTROL SOBRE SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL.							

Original firmado

Gloria Sandra Espinosa Narváez. TQ-00219

Téc. Laboratorio Bromatología - Abonos Orgánicos

Elaboración del Reporte

Aprobación del Reporte

Revisó: Raquel Córdoba. PQ-5356

2019-07-17

FIN REPORTE DE RESULTADOS

Ciudad Universitaria - Torobajo - Telf 7314477 - San Juan de Pasto - Colombia. e-mail: labrom-abonos@udenar.edu.co

Anexo D. Pruebas estadísticas de cinética de crecimiento.

VAR00001 - Pruebas de normalidad - septiembre 30, 2019

Pruebas de normalidad

VAR00001	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VAR00002 BC	,198	10	,200*	,924	10	,392
BF	,276	10	,030	,859	10	,073
MC	,215	10	,200*	,886	10	,153

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

VAR00001 - Prueba de homogeneidad de varianza - septiembre 30, 2019

Prueba de homogeneidad de varianza

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
VAR00002	Se basa en la media	1,169	2	27	,326
	Se basa en la mediana	,925	2	27	,409
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,925	2	26,441	,409
	Se basa en la media recortada	1,091	2	27	,350

Subconjuntos homogéneos - VAR00002 - septiembre 30, 2019

VAR00002

VAR00001	N	Subconjunto			
		1	2	3	
HSD	BF	10	,1273		
Tukey ^{a,b}	BC	10		,2246	
	MC	10			,3196
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan ^{a,b}	BF	10	,1273		
	BC	10		,2246	
	MC	10			,3196
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 1,093E-5.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,000.

b. Alfa = 0,05.

Anexo E. Pruebas estadísticas de compresión.

MATERIAL - Pruebas de normalidad - septiembre 30, 2019

Pruebas de normalidad

MATERIAL	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
COMPRESION BC16	,116	5	,200*	,997	5	,998
BC50	,178	5	,200*	,960	5	,810
IC	,357	5	,037	,718	5	,015
MC16	,186	5	,200*	,951	5	,742
MC50	,287	5	,200*	,861	5	,233

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

MATERIAL - Prueba de homogeneidad de varianza - septiembre 30, 2019

Prueba de homogeneidad de varianza

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
COMPRESION	Se basa en la media	1,223	4	20	,333
	Se basa en la mediana	,328	4	20	,856
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,328	4	13,246	,854
	Se basa en la media recortada	1,178	4	20	,351

Subconjuntos homogéneos - COMPRESION - septiembre 30, 2019

COMPRESION

MATERIAL	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	
HSD	BC50	5	8,3240				
Tukey ^{a,b}	MC50	5		14,5020			
	BC16	5			24,8480		
	MC16	5				35,5680	
	IC	5					112,7160
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^{a,b}	BC50	5	8,3240				
	MC50	5		14,5020			
	BC16	5			24,8480		
	MC16	5				35,5680	
	IC	5					112,7160
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,982.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0,05.

Anexo F. Pruebas estadísticas de flexión.

MATERIAL - Pruebas de normalidad - septiembre 30, 2019

Pruebas de normalidad

MATERIAL		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FLEXION	BC16	,157	5	,200*	,974	5	,901
	BC50	,235	5	,200*	,877	5	,294
	IC	,289	5	,200*	,891	5	,363
	MC16	,201	5	,200*	,924	5	,557
	MC50	,223	5	,200*	,954	5	,767

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

MATERIAL - Prueba de homogeneidad de varianza - septiembre 30, 2019

Prueba de homogeneidad de varianza

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
FLEXION	Se basa en la media	,346	4	20	,844
	Se basa en la mediana	,253	4	20	,905
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,253	4	18,583	,904
	Se basa en la media recortada	,346	4	20	,844

Subconjuntos homogéneos - FLEXION - septiembre 30, 2019

FLEXION

MATERIAL		N	Subconjunto				
			1	2	3	4	5
HSD Tukey ^{a,b}	BC50	5	73,7540				
	BC16	5		114,2880			
	MC50	5			196,0620		
	MC16	5				352,4460	
	IC	5					2782,8460
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Duncan ^{a,b}	BC50	5	73,7540				
	BC16	5		114,2880			
	MC50	5			196,0620		
	MC16	5				352,4460	
	IC	5					2782,8460
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 13,049.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = ,05.

Anexo G. Pruebas estadísticas de densidad.

MATERIAL - Pruebas de normalidad - septiembre 30, 2019

Pruebas de normalidad

MATERIAL	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DENSIDAD BC16	,256	5	,200*	,910	5	,465
BC50	,223	5	,200*	,917	5	,509
IC	,165	5	,200*	,971	5	,879
MC16	,150	5	,200*	,974	5	,898
MC50	,283	5	,200*	,846	5	,183

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

MATERIAL - Prueba de homogeneidad de varianza - septiembre 30, 2019

Prueba de homogeneidad de varianza

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DENSIDAD	Se basa en la media	,474	4	20	,754
	Se basa en la mediana	,358	4	20	,835
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,358	4	18,783	,835
	Se basa en la media recortada	,452	4	20	,770

Subconjuntos homogéneos - DENSIDAD - septiembre 30, 2019

DENSIDAD

MATERIAL	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	
HSD Tukey ^{a,b}	BC16	5	13,8380				
	MC16	5		14,5060			
	BC50	5		14,7220			
	MC50	5			15,9640		
	IC	5				23,0420	
	Sig.		1,000	,055	1,000	1,000	
Duncan ^{a,b}	BC16	5	13,8380				
	MC16	5		14,5060			
	BC50	5			14,7220		
	MC50	5				15,9640	
	IC	5					23,0420
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,013.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0,05.