

EJE DE FORMACIÓN EN INVESTIGACIÓN
MONOGRAFÍA:
OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE ORIGEN NATURAL.

AUTORES:

VANESSA PAOLA ATENCIO MOSCOTE

LAURA GALLEGO CARDONA

ASESORES:

PH.D ALEJANDRO ZULETA

D.I. MG. DAVID TORREBLANCA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

FACULTAD DISEÑO INDUSTRIAL

MEDELLÍN – ANTIOQUIA

2018

Tabla de contenido

Introducción	5
1. Planteamiento del problema	6
1.1 Tema general del proyecto	6
1.2 Características generales del proyecto de investigación	6
1.3 Problema de investigación identificado, hipótesis y pregunta de investigación	6
1.3.1 Problema de investigación identificado.....	6
1.3.2 Pregunta de investigación.	8
1.3.3 Hipótesis.	8
1.4 Elementos del problema de investigación.....	8
1.5 Limitaciones de la investigación: alcance y riesgos.....	8
2. Justificación	9
3. Marco de referencia	10
3.1 Antecedentes	10
3.1.1 Materiales compuestos.	10
3.1.2 Componentes del material compuesto.....	10
3.1.3 Materiales compuestos naturales.....	11
3.1.4 La Orellana (Pleurotus ostreatus).	11
3.2 Estado del arte	12
3.3 Marco teórico. Conceptualización de los elementos del problema.....	14

3.3.1 Poliestireno expandido y su aplicación en los procesos de embalaje.....	15
3.3.2Efectos ambientales por el uso del EPS.....	16
3.3.3 La guadua.	16
3.3.4 La guadua y sus propiedades mecánicas.	17
4. Objetivos.....	19
4.1 Objetivo general	19
4.2 Objetivos específicos.....	19
5. Metodología	20
5.1 Determinación de la proporción de nutrientes	20
5.2 Preparación de la fibra.....	21
5.3 Obtención del material compuesto fibra-micelio	21
5.4 Ensayos mecánicos.....	22
5.4.1 Fabricación de las probetas.	22
5.4.2 Ensayo de impacto.	22
5.4.3 Ensayo de compresión.	23
6.1 Ensayo de compresión e impacto	27
7. Conclusiones y recomendaciones	30
8. Anexos	33
9. Referencias	31

Listado de figuras

Figura 1. Dirección de las fibras según su función. Inet, 2011.....	10
Figura 2. Gráfica de Densidad vs Tenacidad a la Fractura para diferentes materiales. CES EduPack, 2017.	15
Figura 3. Gráfica de Densidad vs Tenacidad a la Fractura para espumas. CES EduPack, 2017..	16
Figura 4. Características de la Guadua Angustifolia Kunth. BFC S.A.S.....	18
Figura 5. Crecimiento de los ensayos a las 36 h de incubación. (a) ensayo 50% (b) ensayo 100 % (c) ensayo 150 %. Fotografía tomada por Laura Gallego.....	24
Figura 6. Ensayo elegido para ser replicado. (IZQ) Proceso de incubación pasadas 96 h (DER)) Crecimiento de las hifas sobre la fibra. Fotografía tomada con un estereomicroscopio Olympus SZ-PT, por Laura Gallego.....	25
Figura 7 Comparación entre los micelios usados. A la izquierda el micelio proveído por la Universidad de Antioquia, a la derecha el micelio de Setas de Siecha. Fotografía por Laura Gallego.....	26
Figura 8 Probetas de impacto ASTM D638 de diferentes micelios. A la izquierda micelio de la Universidad de Antioquia, a la derecha micelio de Setas de Siecha. Fotografía por Laura Gallego.....	26
Figura 9 Gráfica de Carga vs Deformación, evaluación de ambos materiales	28

Listado de tablas

Tabla 1. Resultados obtenidos de la prueba de impacto ASTM D638.	27
Tabla 2 Resultados de la prueba de resistencia a la compresión	28

Introducción

El presente proyecto de investigación se centra en la obtención de un material compuesto de origen natural como sustituto al poliestireno expandido (EPS), empleado comúnmente para el embalaje de productos, el cual es elaborado a partir de *Guadua Angustifolia Kunth* y micelio *Pleurotus ostreatus*. La investigación se llevó a cabo inicialmente determinando la composición de la matriz para la cual se realiza una variación en la concentración de nutrientes de tal forma que permitieran el desarrollo y crecimiento del micelio, para lo cual se especificaron tres experimentos con la intención de ver como se comportaba el hongo en distintas composiciones. Luego de obtener el compuesto se incorporaron en moldes con la forma normalizada de las probetas para ensayos de compresión e impacto para analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas del material. Esto sirvió para generar comparaciones entre el compuesto fibra-hongo y el poliestireno expandido en relación a sus propiedades, y si podría ser un sustituto por este. Se encontró que el material posee una rigidez estable a pesar de su naturaleza de carácter fibroso, esto fue comprobado en las pruebas de impacto y finalmente al analizar las pruebas de compresión se observó un comportamiento de ensanchamiento y compactación por parte del material.

1. Planteamiento del problema

1.1 Tema general del proyecto

Desarrollo de un material compuesto natural a partir de fibras de guadua y micelio de Orellana.

1.2 Características generales del proyecto de investigación

En este proyecto se llevó a cabo una experimentación explicativa, en donde se define el procedimiento para desarrollar un material compuesto de origen natural, utilizando fibras de guadua y micelio de Orellana, el cual comprende el tratamiento de las materias primas, la obtención del material compuesto, la preparación de probetas, la ejecución de pruebas mecánicas y finalmente, el análisis de la información obtenida.

1.3 Problema de investigación identificado, hipótesis y pregunta de investigación

1.3.1 Problema de investigación identificado.

El uso de polímeros en la última década ha presentado a nivel mundial una crisis ambiental debido a las altas cantidades de material que se encuentran desechados y no reciclados. Uno de los polímeros que se encuentra inmerso en esta situación es el Poliestireno Expandido (EPS) conocido en Colombia como “Icopor”, el cual es usado comúnmente para el empaquetamiento y procesos de embalaje. Este material en el contexto colombiano ha obligado a varias organizaciones ambientales a hacer un llamado de alerta al uso de este, por su baja biodegradabilidad. La mayor dificultad que se presenta con este material se da en su proceso de reciclaje por lo cual muchas de las empresas que tienen este material como residuo optan por desecharlo o incinerarlo. (Ramos, Molina & Pérez, 2014).

Como alternativas a la problemática del plástico, han surgido proyectos que han buscado alternativas al uso de productos derivados del petróleo que usan como materia prima materiales

de origen natural o desechos de alguna industria como la fibra de bambú, que poseen la característica de tener un menor impacto ambiental.

El bambú, es un material vegetal que ha sido usado en las construcciones y es reconocido por sus propiedades mecánicas, alta resistencia al impacto, tracción y compresión (Jansen ,1980). En Colombia, es obtenido de manera renovable y sostenible, lo que sumado a las propiedades antes mencionadas lo ubican como un candidato de refuerzo para el desarrollo de un material compuesto natural que ofrezca características similares al EPS, con un menor impacto sobre el medio ambiente. Sin embargo, no se ha explotado a plenitud el potencial de un material compuesto a partir de micelio y fibra de guadua enmarcado dentro de las aplicaciones que posee el EPS.

Por otro lado, se han desarrollado matrices de materiales compuestos a partir de hongos, los cuales presentan buenos resultados en sus propiedades mecánicas, uno de los casos más destacados es el de la empresa *Ecovative*, que desarrolló un material a partir de desechos agrícolas y micelio de champiñón (Ecovative, 2016). Sin embargo, las posibilidades que ofrece la Orellana no han sido ampliamente exploradas en Colombia, ni el uso de esta en conjunto con la fibra de bambú para constituir un material compuesto, debido a que el la Orellana es usada principalmente en la industria alimenticia, no obstante , la resistencia mecánica de la fibra de Guadua junto con el micelio de Orellana puede tener varias aplicaciones, haciendo necesario plantear un material que ofrezca propiedades similares a las del Poliestireno Expandido fabricado a partir de materiales sostenibles.

1.3.2 Pregunta de investigación.

¿Cuáles son las características del proceso de crecimiento y fabricación de un material a partir de fibras de *Guadua Angustifolia Kunth* y micelio *Pleurotus ostreatus* para que sea una alternativa al Poliestireno Expandido (EPS)?

1.3.3 Hipótesis.

Un material compuesto fabricado a partir de micelio de *Pleurotus ostreatus* y fibra de *Guadua Angustifolia Kunth* puede representar una alternativa sostenible para el Poliestireno Expandido (EPS).

1.4 Elementos del problema de investigación

- Poliestireno Expandido
- Materiales compuestos naturales
- *Pleurotus ostreatus*
- Fibras reforzantes
- El bambú
- Resistencia al impacto

1.5 Limitaciones de la investigación: alcance y riesgos

El presente trabajo comprende el planteamiento y las etapas iniciales del desarrollo de un material compuesto de origen natural como alternativa al EPS, desde el establecimiento de la metodología para su obtención hasta la ejecución de pruebas mecánicas a probetas normalizadas del material. En este trabajo no se contempla el diseño de productos empleando el material desarrollado.

2. Justificación

La alta producción de materiales poliméricos con bajas velocidades de degradación ha provocado un fuerte impacto sobre el medio ambiente, por lo cual se hace necesario el planteamiento de nuevas alternativas que minimicen este efecto. En el transcurso del siglo XXI se han desarrollado proyectos que buscan una alternativa a los polímeros derivados del petróleo con el fin de ofrecer productos sostenibles hechos a partir de materiales naturales que poseen propiedades similares, cabe destacar que entre estos desarrollos se han implementado microorganismos como hongos, algas y bacterias que permiten la formación de materiales naturales con diferentes aplicaciones. Sin embargo, no se han encontrado estudios sobre el uso de las fibras de *Guadua Angustifolia Kunth* en la fabricación de materiales con microorganismos, lo que abre la posibilidad de estudiar sus propiedades en conjunto con un hongo cuya producción se ha destinado a la industria alimenticia: La Orellana (*Pleurotus ostreatus*). El presente trabajo de investigación contribuye con el desarrollo de materiales sostenibles que puede ser empleado como alternativa a los materiales poliméricos sintéticos empleados comúnmente para el embalaje de productos como oportunidad de diseño para el diseño industrial aportando otros materiales a otras aplicaciones no solo de embalajes.

3. Marco de referencia

3.1 Antecedentes

3.1.1 Materiales compuestos.

Un material compuesto es aquel sistema constituido por dos o más materiales individuales, que son denominados fase. Los materiales individuales que hacen parte del compuesto tienen propiedades físicas y mecánicas independientes, que se acoplan para tomar las mejores de cada uno, en pro del producto. En un compuesto, se encuentra una fase discontinua encargada de garantizar la resistencia a la tensión del compuesto, denominada refuerzo; y una fase continúa encargada de aportar la rigidez que se requiere para el producto en servicio, denominada matriz. (Ricardo A, Forero R, 2007).

De acuerdo con la orientación en que se dispongan las fibras, ya sea anisotrópica o isotrópicamente este material puede cambiar sus propiedades mecánicas, para realizarlo, debe tenerse en cuenta que el producto o el uso que se le dará al material compuesto. Finalmente se determina la composición entre las resinas y las fibras naturales o de otro tipo, se busca que posean propiedades tales como: resistencia, tenacidad, rigidez etc.

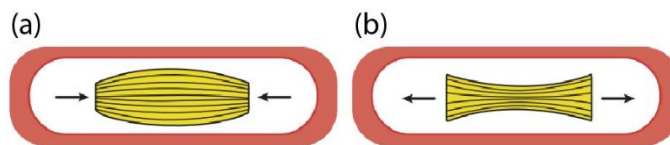


Figura 1. Dirección de las fibras según su función. Inet, 2011.

(a) Matriz de compresión

(b) Matriz de tracción

3.1.2 Componentes del material compuesto.

La matriz es la fase continua, en la que el refuerzo queda “embebido”. En donde tantos materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir con este papel. Las

funciones principales de la matriz son: definir las propiedades físicas y químicas; transmitir las cargas al refuerzo, protegerlo y brindarle cohesión (Inet,2011).

Por otro lado, el refuerzo es la fase discontinua (o dispersa), la cual se agrega a la matriz para conferir al compuesto alguna propiedad que la matriz por sí sola no posee. En general, el refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, pero, también, se emplean refuerzos para mejorar el comportamiento a las temperaturas extremas o resistencia a la abrasión (Inet ,2011).

3.1.3 Materiales compuestos naturales.

Los materiales compuestos de origen natural están presentes en la naturaleza, y obtienen sus propiedades por la combinación de dos o más elementos presentes en su composición o estructura, de acuerdo a su función la relación entre la matriz y el refuerzo puede cambiar; un caso claro son los tejidos presentes en los cuerpos, compuestos de fibras como colágeno y con fibras de rigidez variable, dependiendo de la articulación. (Hull,1987).

3.1.4 La Orellana (*Pleurotus ostreatus*).

Es un hongo o parásito débil, descomponedor de grupos de la podredumbre blanca que crece de forma natural en árboles como aliso, balsa y arce, principalmente en los valles de los ríos. (Stamets, 2000). *Pleurotus ostreatus* es un típico hongo agarical, que a menudo se encuentra recubierto de una capa micelial en la base, posee una carne delgada y blanca, cuando el píleo madura adquiere forma de concha, las láminas son blancas o de color crema. En cuanto a la historia de este hongo no se encuentra tanta información de la implementación del cultivo, pero a principios de la década de los 90' se encontró que este ocupada el segundo puesto de los hongos más cultivados y producido para el consumo, en Colombia se inició el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en el año 1990 en Antioquia. (Cabrera y colaboradores, 1998).

El cultivo del hongo posee las mismas etapas de un hongo comestible, y se diferencia en las etapas de incubación y fructificación por las condiciones ambientales.

La incubación del hongo tarda de 22-30 días y es necesario que la temperatura en el sitio de incubación permanezca de 23 a 24 °C (Granados, 2004). El área de incubación debe ser un lugar oscuro, fresco y cerrado para mantener una humedad relativa de 70 a 80% (Archila, 2004), para permitir que las hifas, aquellos filamentos que conforman la estructura del hongo se desarrollen y permitan la fructificación, su estado de consumo humano. En la fructificación se debe aumentar esa humedad relativa de un 80 a 93% para inducir la formación del hongo (Archila, 2004).

3.2 Estado del arte

Se han encontrado investigaciones, patentes, artículos que presentan información sobre materiales naturales compuestos realizados con micelio y fibras o desechos agrícolas. No se encontraron investigaciones sobre materiales naturales elaborados con fibras de Guadua y micelio de Orellana usados para procesos de embalaje terciario, sin embargo, a continuación, se presentan investigaciones, metodologías y experimentación de material compuesto.

El primer trabajo encontrado consiste en una investigación sobre la morfología del tejido producida con el hongo (Jacob.W et al., 2013) en la cual se proporcionan métodos para producir las siguientes características a través de la manipulación ambiental y química de las fases vegetativa y de fructificación del hongo Basidiomycete *Pycnoporus cinnabarinus*: 1) Micelio vegetativo aéreo pigmentado con *ácido cinabacánico*; 2) Micelio vegetativo aéreo sin pigmentación; 3) Una superficie de poro del cuerpo de fructificación resupinada pigmentada con *ácido cinabarínico*; y 4) masas espesadas de micelio vegetativo aéreo. Como resultado se observó que la invención proporciona un elemento que tiene una morfología (es decir, forma y estructura), proporciona una superficie protectora y amortiguada ideal para fines de envasado y

también proporciona métodos para producir las características del tejido a través de la manipulación ambiental y química de las fases vegetativa y de fructificación del hongo Basidiomycete *Pycnoporus cinnabarinus* mencionadas anteriormente.

Por otro lado, en un trabajo realizado por Jonas (2014) se obtuvieron pantallas para lámparas elaboradas en fibras vegetales y micelio. En dicho trabajo el *micelio* del hongo permitió la formación de la pantalla a través del crecimiento del mismo. El micelio de hongos utiliza los residuos para cultivar los frutos y estabiliza el material en una matriz de raíces de micelio, y crea un producto de desecho final optimizado con un producto alimenticio nutritivo durante el ciclo de crecimiento. Como resultado se obtuvo la pantalla de una lámpara llamada MYX, el organismo de hongos proviene de una granja comercial de hongos y las fibras vegetales son un material sobrante de la industria textil, MYX es un producto de desecho final optimizado con un producto alimenticio nutritivo durante el ciclo de crecimiento.

Otro trabajo relacionado, consiste en el desarrollo de una metodología de compuestos verdes hechos con tejido de bambú y *ácido poli (láctico)* para aplicaciones de embalaje (Nurul Fazita M.R., Jayaraman .K & Bhattacharyya.D, 2013). En la investigación encontraron una forma de ayudar a los fabricantes e investigadores que estén interesados en estudiar las propiedades esenciales de los compuestos de tela de fibras naturales para aplicaciones de envasado. Encontraron que esta metodología abrió nuevas ventanas y proporcionó nuevos conocimientos sobre las propiedades importantes de los compuestos de fibra-biopolímero de fibras naturales, en particular los compuestos de tela de bambú-PLA, para diversas investigaciones.

El cuarto trabajo consistió en el desarrollo de un método para el cultivo de materiales micológicos (Eben.B, Gavin .M, 2013). El método de cultivo del micelio basidiomiceto incluye inocular un sustrato que promueve el crecimiento y diferenciación del *micelio basidiomiceto* sin

apoyar la producción de un *basidiocarpo* con un *micelio vegetativo* y después incubar el sustrato inoculado en un primer periodo de incubación a temperatura controlada, humedad, luz y los niveles de dióxido de carbono seguido de un período de incubación final.

Por otro lado, en una investigación acerca del laminado compuesto de fibras naturales reforzadas (Jauharia .N, Mishrab .R & Thaku .H, 2015) se realizaron un análisis de varias fibras naturales, sus propiedades físicas, tipos de tela de fibras, métodos de fabricación, secuencia de apilamiento y criterios de falla etc, descubrieron que los plásticos reforzados con fibra (FRPs) poseen alta rigidez, resistencia, tolerancia al daño por fatiga, resistencia a la fatiga a las relaciones de peso, bajo coeficiente de expansión térmica, baja corrosión, amortiguación interna alta (mejor absorción de energía vibracional) y también los PRF, tienen un bajo costo de mantenimiento y el número de piezas es menor junto con un bajo costo de herramientas.

Por último, Damen .D y Matthew L. (2014) llevaron a cabo un trabajo con el tratamiento de *biofilm* de materiales compuestos con micelio. En este trabajo, elaboraron un procedimiento que proporcionó un *biofilm*, este no se limita a celulosa producida por bacterias que se pueden usar como *bioresina* y como aplicación superficial para biomateriales *miceliados* y *no miceliados* como resultado elaboraron un procedimiento para el crecimiento de biopelículas.

3.3 Marco teórico. Conceptualización de los elementos del problema

Los embalajes son entendidos como aquellos contenedores que son utilizados para conservar, exhibir, movilizar, entre muchas otras funciones, las mercancías.

- **Primario:** Se encuentra en contacto directo con la mercancía.
- **Secundario:** Transporta los productos que están dentro de su embalaje primario.
- **Tipo terciario:** Son utilizados para movilizar altos volúmenes de embalajes secundarios.

Teniendo en cuenta que la finalidad básica de este embalaje es la protección del producto y garantizar que éste llegará sano y salvo a su lugar de destino, la fabricación de estos es lo suficientemente resistente, estos suelen ser los contenedores o embalajes de madera o de polímeros, así como los cartones de diferentes tipos, como el ondulado (Packlink LTD).

La investigación se centra en aquellos productos que necesitan un proceso de empaquetamiento terciario (el embalaje), deben estar protegidos de movimientos que puedan deteriorar la integridad de los componentes y generar algún daño estructural de la pieza. Los materiales candidatos para ser usados deben ofrecer una baja densidad y alta resistencia mecánica, para cumplir con su objetivo (CES EduPack, 2017), en las Figura 1 se muestran materiales candidatos para ser usados como medio de protección:

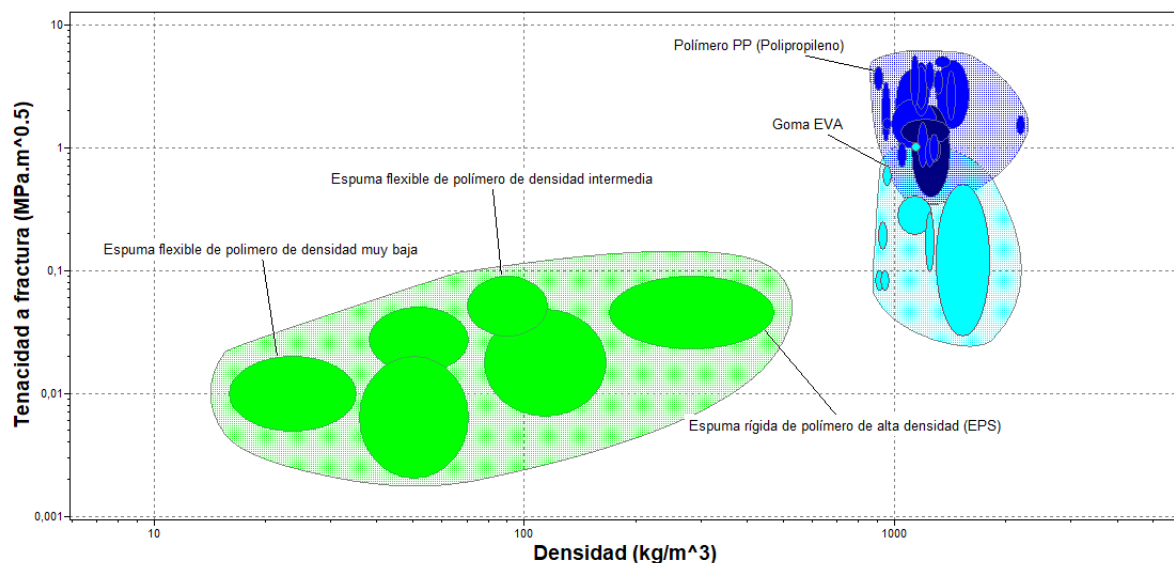


Figura 2. Gráfica de Densidad vs Tenacidad a la Fractura para diferentes materiales. CES EduPack, 2017.

3.3.1 Poliestireno expandido y su aplicación en los procesos de embalaje.

Es un material rígido derivado del petróleo relleno de aire, el 98% de su volumen está compuesto de este, es utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento

termo y acústico, en el campo de envases y embalaje es acogido en esta industria por sus múltiples aplicaciones.

Aplicaciones en el embalaje de productos: Este material es una de las soluciones más utilizadas en esta área por su resistencia al impacto, y se considera el indicado para evitar daños durante el transporte, además de su versatilidad permitiendo elaborar piezas pequeñas o de gran tamaño (Brafim, 2017).

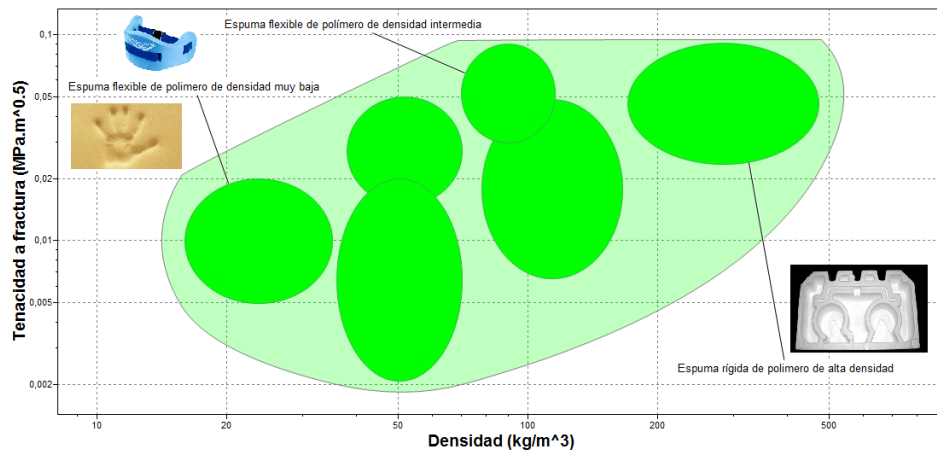


Figura 3. Gráfica de Densidad vs Tenacidad a la Fractura para espumas. CES EduPack, 2017.

3.3.2 Efectos ambientales por el uso del EPS.

El uso desmedido del poliestireno expandido (EPS) en los últimos años ha provocado una mala gestión en la recolección de este material generando problemas ambientales, actualmente no existe un correcto manejo de este desecho lo que ha ocasionado gran cantidad de residuos sólidos urbanos. Los procesos de reciclaje mecánico, permiten la fabricación de nuevas piezas de EPS, donde se tritura, se reduce su tamaño para el proceso de peletización y destinarse a nuevas piezas de embalaje o empaque a través de procesos de extrusión.

3.3.3 La guadua.

La *guadua angustifolia Kunth* es un material poroso de origen vegetal y está constituido por células. Puesto que sus fibras están dispuestas axial y longitudinalmente se considera

anisotrópico, ya que sus propiedades físicas y mecánicas varían según el plano considerado; presenta cambio de sus dimensiones debido a la expansión térmica y cambio de volumen a causa de la humedad. Todo esto hace que la guadua se comporte similar a la madera y por esta razón se ha referenciado con los estudios de aquella para la determinación de propiedades físicas y mecánicas (Unal, 2009).

En el proceso de extracción de las fibras por estar ligada a otros componentes de la estructura de la planta el proceso para separar y extraer la fibra es de mucho cuidado, actualmente se han desarrollado procesos químicos y biológicos que ayudan a desprender la fibra sin causar daños al material, que consisten en separar los tres componentes de la materia prima vegetal, es decir, la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Primero es necesario hacer una digestión de la fibra en detergente ácido (ADF), en la que se solubilizan la hemicelulosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas contenidas en la guadua por medio de una solución de ácido sulfúrico diluido. En el residuo de este proceso se encuentra el contenido de celulosa y lignina, oxidando esta última con permanganato. Separadamente se le hace una digestión en detergente neutro (NDF) a la guadua molida, para delignificar el material. Finalmente, el contenido de hemicelulosa en el bambú se encuentra por la diferencia de peso de los residuos de NDF y de ADF después de la oxidación con permanganato (Estrada, 2011).

3.3.4 La guadua y sus propiedades mecánicas.

El bambú es considerado un “Acero vegetal” que puede soportar grandes esfuerzos de compresión, tracción e impacto, actualmente sus cualidades mecánicas lo han hecho ideal para reemplazar estructuras. Es un material con propiedades estructurales ortotrópicas, con una alta variación en sus propiedades físicas que inciden también en la variabilidad de sus propiedades mecánicas. Aunque la madera presenta una naturaleza similar a la guadua en cuanto a que se

trata de un material natural con propiedades altamente variables, la primera ha sido clasificada y normalizada desde hace más de 50 años, de tal manera que puede emplearse en la construcción con un grado suficiente de certeza sobre su comportamiento.(Rojas,2013).En Colombia cada vez más se produce la guadua, explorando las oportunidades dentro del mercado industrializado en las áreas de la arquitectura. En la figura 4 se muestran las características del tipo de bambú seleccionado y producido en Colombia.

Data sheet Bamboo fibres (clean fibres)		
Bamboo type	Guadua <i>Angustifolia</i> Kunth	
Location	Coffee Region, Colombia	
Fibre extraction	Mechanical*	
Length (cm)	5 - 30	
Diameter (μm)	120 - 190	
Fibre strength (MPa)**	830 \pm 113	
Fibre stiffness (GPa)	51 \pm 7	
Strain to failure (%)	1.8%	
Density (gr/cm ³)	1.4	
Fibre moisture content (%)	6.0 \pm 0.5***	
Fibre Weibull parameters	Scale parameter σ_0 (MPa)	982 \pm 30
	Shape parameter m	7.6 \pm 0.5
	Sensitive parameter β	0.48 \pm 0.22

Figura 4. Características de la Guadua *Angustifolia* Kunth. BFC S.A.S.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Obtener un material compuesto de origen natural compuesto por fibras de Guadua y micelio que pueda ser empleado como alternativa al poliestireno expandido.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos de preparación de las materias primas para la conformación del material compuesto a partir de la matriz de micelio y del refuerzo de guadua, de acuerdo con la literatura consultada.
- Preparar muestras de material compuesto empleando fibra de Guadua y micelio de Orellana.
- Caracterizar mecánicamente el material compuesto obtenido.

5. Metodología

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo por medio de una metodología explicativa, caracterizado por el uso de métodos analítico-empíricos, que responden a la hipótesis planteada y tiene como insumos de respuesta la experimentación con los tópicos propuestos para llevar a cabo el proyecto. La metodología se compone de los siguientes items:

5.1 Determinación de la proporción de nutrientes

Para determinar la composición se estandarizaron las condiciones en las que el hongo debe crecer y desarrollarse, usando como referencia los procesos que *Ecovative Design* tiene destinados para su producto *Grow It Yourself* (*Ecovative Design*, 2016), en las que especifican una relación 1:1.8 mL de agua y 1:0.03 g de harina, que en este caso representa los nutrientes que el micelio necesita. En el caso puntual del desarrollo del proyecto, el uso de un micelio diferente al usado por *Ecovative* dejaba abierta la interrogante sobre la proporción de nutrientes que necesitaba para crecer, así que se especificaron 3 experimentos variando las proporciones presentadas por la literatura, de la siguiente forma: el primero de los experimentos se usaron las mismas proporciones de la literatura, el segundo se redujeron los nutrientes al 50%, y el tercero las aumentó la cantidad en un 150%. De cada uno de estos experimentos se realizaron tres muestras para descartar aquellas muestras que puedan sufrir riesgo de contaminación. Cada 24 h se hizo un seguimiento del crecimiento, buscando signos de contaminación como consecuencia de una manipulación incorrecta, que pueden identificarse como manchas negras y/o verdes, en caso de que se presentarse, las muestras eran desechadas. En caso de no presentar dichas contaminaciones las muestras continuaban con el proceso, que consistía por un registro fotográfico de su crecimiento registrado cada 36 horas. Luego de esto, cada ensayo se observó al microscopio empleando un estereomicroscopio Olympus SZ-PT, con el fin de analizar el

crecimiento del micelio y su contacto con las fibras. Adicionalmente, mediante inspección visual y táctil se observó su nivel de humedad en términos de la presencia de gotas de agua y la rigidez de la muestra. Finalmente, se seleccionó el ensayo que presentó un mayor crecimiento del micelio a simple vista, mayor rigidez y menor humedad

5.2 Preparación de la fibra

La fibra fue adquirida de la empresa BFC S.A.S, con presencia de parénquima y con una longitud entre 150 y 250 mm; el procesamiento de la misma consistió en el corte de las fibras en longitudes entre los 20 mm y 50 mm, posterior a esto se realizó un proceso de digestión básica con NaOH 2% (V/V) a 80°C durante una hora y el reposo de la fibra en una solución de H₂SO₄ y pH= 6 durante 24 h, la fibra fue lavada con agua de la llave y secada en un horno a 60°C durante 24 h, el proceso finaliza dejándola en reposo en un desecador por 48 h.

5.3 Obtención del material compuesto fibra-micelio

Los procesos anteriores a la obtención del material comprenden:

- Esterilización de las fibras en autoclave a 121°C y 15 psi durante 60 minutos.
- Preparación de los incubadores, se usaron bolsas resellables con una abertura en una cara superior cubierta con papel de filtro para permitir el flujo de oxígeno.
- Pesaje y medición de los nutrientes, empleando una balanza analítica Metler Toledo AB204-S.
- Pesaje del micelio, equivale al 30% de la masa de la fibra.
- Pesaje de cal, representa el 1% de la muestra; evita la acidificación del medio.

Cumplidas las etapas anteriores y teniendo todos los instrumentos desinfectados con alcohol isopropílico, se depositaron las materias primas en las bolsas resellables: fibra, micelio, harina,

agua y cal. Finalmente, se cerró el incubador y se agitó vigorosamente con el fin de permitir la incorporación de todos los elementos. Cada muestra fue almacenada por 96 horas en un lugar oscuro, fresco y seco.

5.4 Ensayos mecánicos

5.4.1 Fabricación de las probetas.

Luego de obtener el compuesto, este se mezcló en un recipiente con harina en una proporción 1:0.11 g permitiendo que la harina se esparza por todas las fibras, esto con el fin de darle al micelio los nutrientes necesarios para continuar la etapa de crecimiento. Posteriormente, se incorporaron en los moldes de las probetas que serán analizadas. Las probetas empleadas para estos ensayos fueron de dos tipos: (1) la probeta utilizada para la prueba de resistencia al impacto se adecuó a las dimensiones longitudinales y transversales que especifica la norma ASTM D638, con un espesor es de 10 mm; y (2) la probeta para los ensayos de compresión se realizó con un molde de caucho siliconado de forma cúbica con dimensiones de 25 mm y usando como referente la norma ASTM D695. Una vez que los moldes fueron llenados con el material, se cubrieron con papel envolvente para alimentos y se hicieron cuatro perforaciones con un alfiler para permitir el intercambio de oxígeno y se dejaron en reposo en un lugar fresco, seco y sin luz durante 120 h; pasado el tiempo se desmoldaron y dejaron secar en un lugar ventilado durante 48 h, pasado este proceso se secaron en un horno a 93°C durante 30 min, finalmente se dejaron enfriar.

5.4.2 Ensayo de impacto.

El procedimiento se lleva a cabo de acuerdo con la norma ASTM D638 empleando el péndulo Charpy. El primer paso que se realizó fue comprobar que las probetas tengan las dimensiones necesarias para ser sujetadas en las mordazas, se comprobó que la lectura estuvo en cero antes de

iniciar la prueba y se acciona el péndulo, se registra el valor marcado y se cambia la probeta para repetir el proceso con las probetas restantes.

5.4.3 Ensayo de compresión.

Esta prueba se realizó con probetas cúbicas que se someterán a fuerzas axiales en una máquina universal Instron 5582 con una celda de carga de 100KN y una velocidad de 10 mm/min, la pruebas se realizaron hasta que las muestras registraron una deformación del 80%, esta prueba fue realizada usando como referente la norma ASTM D695.

5.4.4 Instrumentos de registro de información.

Para las primeras fases de desarrollo se realizaron fichas de protocolo de cada proceso a realizar con sus respectivos instrumentos para la recolección de datos y anotación de las características y/o fenómenos que se realizaron, conjunto con esto, se hizo un registro fotográfico de cada experimento con el fin de identificar y documentar procesos y/o patrones encontrados. El registro de la deformación del material en la prueba de compresión se realizó mediante registros de vídeo con una cámara JVC PX-100.

6. Resultados y discusión

Con el fin de conocer el comportamiento de matriz con respecto a la fibra, se realizó un ensayo de crecimiento del hongo en presencia de estas, donde se observó que el crecimiento del micelio fue visible en las primeras 12 horas de incubación, evidenciándose como manchas blancas de apariencia almidonada sobre las fibras. Luego de las primeras 24 h las muestras que presentaron un mayor crecimiento fueron las que se realizaron según los parámetros de la literatura. Luego de las 24 h se observó que la velocidad de crecimiento disminuyó, mientras que la muestra que tenía una relación del 50% con respecto a la anterior demostró un crecimiento más rápido, y los ensayos que tenían una relación del 150% con respecto a la literatura se mostraban húmedos y no presentaban un crecimiento avanzado. En la figura 5 se observa el proceso de crecimiento de los experimentos que se llevaron a cabo de acuerdo con las proporciones usadas a 36 h de la incubación. En esta misma figura se observa, de izquierda a derecha, el experimento que representa el 50% de los nutrientes (1:0.9 mL de agua y 1:0.015 g de harina), 100% de los nutrientes (1:1.8 mL de agua y 1:0.03 g de harina) y el 150% de los nutrientes (1:0.7 mL de agua y 1:0.045 g de harina).

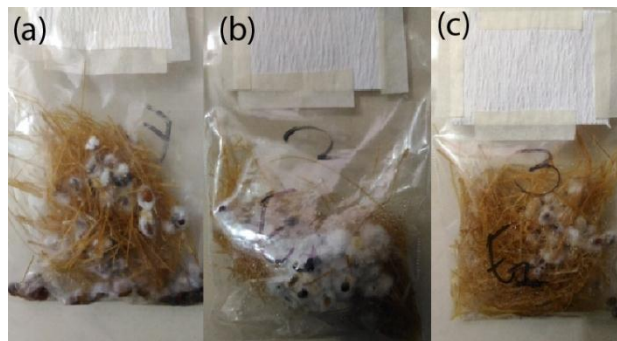


Figura 5. Crecimiento de los ensayos a las 36 h de incubación. (a) ensayo 50% (b) ensayo 100 % (c) ensayo 150 %. Fotografía tomada por Laura Gallego

Durante las etapas siguientes a la incubación, el crecimiento del ensayo con el 50% de nutrientes (1:0.9 mL de agua y 1:0.015 g de harina) mostró mejores resultados en términos de

crecimiento visible, observándose además que la fibra estaba cubierta en su mayoría por una masa almidonada de color blanco. Pasadas las 96 h, las muestras fueron analizadas en un estereomicroscopio Olympus SZ-PT para ver en detalle el crecimiento del micelio, donde junto con las inspecciones visuales y táctiles, se determinó que el ensayo que usaba la mitad de la proporción que la propuesta por *Ecovative* mostraba mejores resultados en cuanto a crecimiento, rigidez y humedad. En la figura 6 puede apreciarse a la izquierda el estado del incubador en el último día del proceso de crecimiento, la imagen de la derecha corresponde a una fotografía del material con un aumento de 10x en que se observa la forma en que los filamentos de color blanco (hifas) rodean las fibras de guadua.



Figura 6. Ensayo elegido para ser replicado. (IZQ) Proceso de incubación pasadas 96 h (DER) Crecimiento de las hifas sobre la fibra. Fotografía tomada con un estereomicroscopio *Olympus SZ-PT*, por *Laura Gallego*

El proceso de obtención se realizó en dos etapas, la primera de estas evidenció un crecimiento del micelio constante, acelerado y estable que permitió establecer las proporciones de nutrientes y los tiempos de proceso enunciados en este trabajo, en su segunda etapa, tuvo que trabajarse con un micelio diferente al primero (proveído por la Universidad de Antioquia), debido a problemas de existencia con el proveedor, recurriendo al micelio de Setas de Siecha, este micelio tuvo un comportamiento diferente, la primera etapa de crecimiento estaba contemplada en 96 h, sin embargo, el micelio de Setas de Siecha alargó el proceso a casi 200 h; esto no solo retardaba los

tiempos de proceso sino que era deficiente con respecto al primer micelio. El contraste entre ambos micelios puede observarse en la Figura 7.



Figura 7 Comparación entre los micelios usados. A la izquierda el micelio proveído por la Universidad de Antioquia, a la derecha el micelio de Setas de Siecha. Fotografía por Laura Gallego

Para la formación de las probetas para los ensayos mecánicos, las piezas fueron fabricadas usando dos tipos de moldes, las probetas que serían evaluadas en el péndulo Charpy se realizaron en moldes de acetato termoformado, en relación con los ensayos de compresión, las probetas fueron fabricadas en un molde de silicona que permitía la conservación de la humedad, y cuando fueron desmoldadas tenía una apariencia rígida y estable. Debido a que las probetas realizadas con el micelio de Setas de Siecha tuvieron un proceso más largo, sufrieron de contaminación en esta etapa del proceso, se optó por conservar estas piezas y evaluarlas. En la Figura 8 se muestra el comparativo entre las probetas de acuerdo con el micelio que fue usado.



Figura 8 Probetas de impacto ASTM D638 de diferentes micelios. A la izquierda micelio de la Universidad de Antioquia, a la derecha micelio de Setas de Siecha. Fotografía por Laura Gallego

6.1 Ensayo de compresión e impacto

6.1.1 Resistencia al impacto.

La prueba se realizó bajo la norma ASTM D638, con el objeto de comparar el comportamiento del EPS y el material obtenido, los resultados se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos de la prueba de impacto ASTM D638.

Probeta	Energía de fractura (J)
Icopor 1	0.042
Icopor 2	0.18
Icopor 3	0.042
Micelio 1	0.138
Micelio 2	0.207
Micelio 3	0.43

Durante las pruebas varias probetas del material desarrollado tuvieron que ser descartadas, ya que no presentaban una rotura completa, atribuido a la naturaleza fibrosa del mismo; también cabe resaltar que las variaciones en los resultados se deben a la fabricación de las piezas y el desprendimiento de material ocasionado por el método de formación de las piezas en moldes de acetato termoformado, sin embargo el material mostró una mayor resistencia que el polímero.

6.1.2 Resistencia a la compresión.

Esta prueba se realizó usando la norma ASTM D695 como referente, el ensayo se detuvo hasta que las muestras registraron una deformación del 80%, bajo unas condiciones de 24.5 °C y 33% H.R. Los resultados se enuncian en la Tabla 2.

Tabla 2 Resultados de la prueba de resistencia a la compresión

	Carga máxima (N)
Icopor 1	< -221.20
Icopor 2	< -215.26
Icopor 3	< -234.80
Orellana-Guadua 1	< -4535.68
Orellana-Guadua 2	< -4682.41
Orellana-Guadua 3	< -4642.21

Las probetas mostraron un comportamiento de ensanchamiento y densificación del material bajo los efectos de la fuerza, en ambos casos y los resultados mostraron que el material compuesto posee una fuerza superior a las probetas de Icopor (EPS) con las que se comparó. La gráfica de carga de compresión vs deformación por compresión se muestra en la Figura 9.

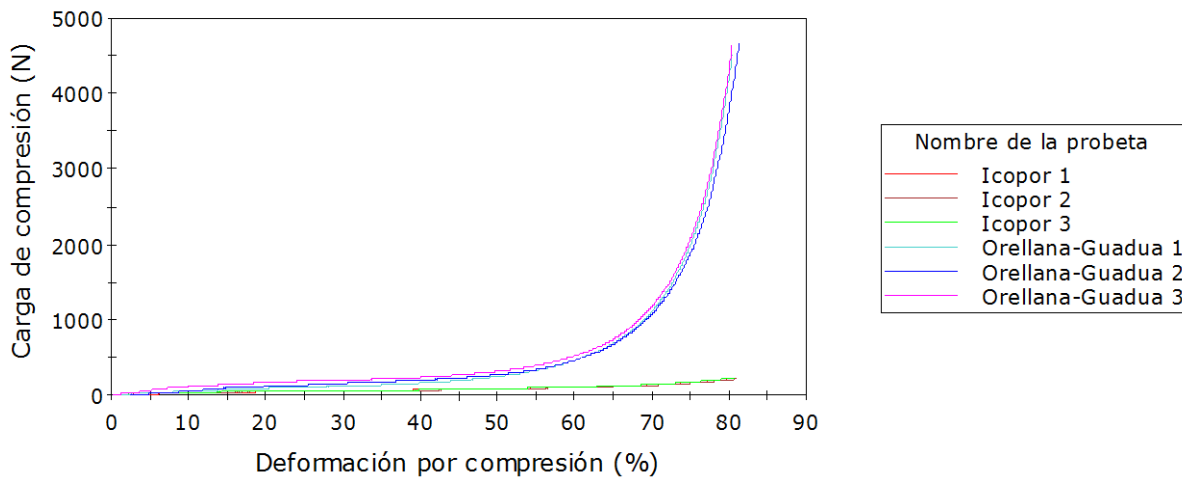


Figura 9 Gráfica de carga vs deformación al 80%, evaluación de ambos materiales

Es necesario resaltar que el material obtenido tiene un comportamiento estable en ambos casos gracias al proceso de fabricación en moldes de silicona, y que su resistencia supera en 19 veces a la del polímero, esto puede deberse a las propiedades mecánicas que poseen la Guadua y al papel del micelio como un aglutinante y compactante.

7. Conclusiones y recomendaciones

1. El micelio de Orellana crece alrededor de la fibra de Guadua, este se adhiere a ella y la usa como medio de expansión por el sustrato.
2. El material desarrollado representa una alternativa frente al Poliestireno Expandido, lo cual fue demostrado en las pruebas de resistencia a la compresión e impacto realizadas.
3. Esta investigación se realizó bajo los parámetros del producto Grow It Yourself, quedan abiertas las posibilidades de retomar el proyecto y controlar las condiciones ambientales en la fase de crecimiento y desarrollo de las piezas.
4. La calidad de las piezas depende del molde en que sean fabricadas, para aquellas piezas que requieran estabilidad dimensionalidad y rigidez se recomienda el uso de moldes rígidos que permitan conservar la humedad y un contramolde que mantenga una fuerza de compresión estable sobre la pieza.

7. Referencias

1. Alvarado R, J. M. (2013). *Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua Angustifolia mediante técnicas estadísticas y redes neuronales*. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de: <http://bdigital.unal.edu.co/44823/>
2. Angulo, S. (11 de Mayo de 2016). *Icopor: el útil material que está lleno de problemas*. Obtenido de Enter.co: <http://www.enter.co/cultura-digital/ciencia/icopor-el-util-material-que-esta-lleno-de-problemas/>
3. BRAFIM. (13 de Septiembre de 2017). *Poliestireno expandido EPS*. Obtenido de BRAFIM : <http://www.brafim.com/es/materiales/poliestireno-expandido-eps/>
4. BRAFIM. (14 de Septiembre de 2017). *Televisores*. Obtenido de BRAFIM: <http://www.brafim.com/es/productos/embalajes-a-medida/embalajes-de-proteccion-en-general/televisores/#!>
5. Breunig, T. (31 de Julio de 2015). *Biodegradable Wood-Based Foam for Insulation & Packing*. Obtenido de LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/biodegradable-wood-based-foam-insulation-packing-tom-breunig>
6. Duque, J. G. (2012 de Febrero de 15). *Estudiantes se inventaron un icopor biodegradable*. El Colombiano.
7. Estrada, M. (2010). *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos*. Obtenido de: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3984.3046>
8. (GBC), G. y B. C. (n.d.). *Acero vegetal*. Obtenido de: <https://guadaybambu.es.tl/Acero-Vegetal.htm>

9. GRANTA Material Intelligence. (18 de Septiembre de 2017). CES EduPack . Medellín, Antioquia, Colombia.
10. Hull, D. (1987). *Materiales compuestos*. Reverté.
11. Imprimur. (20 de Septiembre de 2017). *Espuma de poliuretano*. Obtenido de Imprimur:
<http://www.impimur.com/espuma-poliuretano/>
12. Ing Rodríguez, J. A. (14 de Septiembre de 2017). *Cuándo usar las palabras envase, empaque y embalaje* . Obtenido de El empaque + conversión:
<http://www.elempaque.com/temas/Cuando-usar-las-palabras-envase,-empaque-y-embalaje+4040278>
13. LLC, E. D. (8 de Octubre de 2013). *Justia patents*. Obtenido de
<http://patents.justia.com/patent/9085763>
14. LTD, P. (n.d.). *Guía De Embalaje*. Obtenido de: <https://support.packlink.com/hc/es-es/articles/207647689-Guía-de-Embalaje>
15. Osorio C., L. K. (2015). *Investigación de mercados aplicada a la gestión del poliestireno expandido en la ciudad de Pereira*, año 2015. Universidad tecnológica de pereira.
Obtenido de:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5894/65883C764.pdf;jsessionid=0FC2125487330BC704D8DB8DD1277D1F?sequence=1>
16. Rodriguez, H. (28 de Marzo de 2013). *Mimbrea*. Obtenido de:
<http://www.mimbrea.com/hongos-y-desechos-agricolas-en-la-construccion-ecovative-design/>

8. Anexos

Anexo 1

1. Crecimiento del micelio

1.1 Imágenes de los incubadores durante las primeras 36 h. De izquierda a derecha: Ensayo 50 %, ensayo 100 %, ensayo 150 %.



1.2 Imágenes de los incubadores a las 72 h. De izquierda a derecha: Ensayo 50 %, ensayo 100 %, ensayo 150 %.

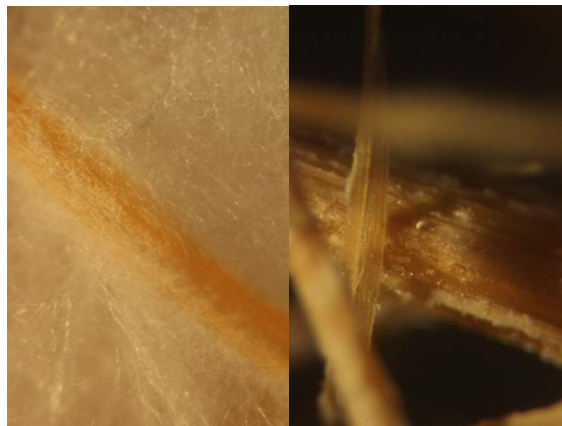


1.3 Imágenes de los incubadores a las 96 h. De izquierda a derecha: Ensayo 50 %, ensayo 100 %, ensayo 150 %.



2. Microscopía del material

Las imágenes mostradas pertenecen a las muestras que obtuvieron los mejores resultados en términos de crecimiento del micelio como una expansión de la masa almidonada de color blanco. Las fibras se ven cubiertas en su mayoría por el microorganismo, que tiene un crecimiento desordenado pero constante, como puede apreciarse en las fotografías.



1. Formación de las piezas

Los moldes fueron realizados en acetato termoformado en su primera instancia, en el desmolde puede observarse que las probetas conservan su forma y poseen una capa de color blanco sutil que indica la presencia del micelio y su adaptación al molde.



4. Pruebas mecánicas

4.1 Resistencia al impacto

Fotografías pertenecientes al ensayo de impacto del material compuesto. En la fotografía de la derecha se evidencia una probeta que no sufrió rotura, a la derecha un ensayo válido con señales de rotura.



a. Resistencia a la compresión

Resultado de las muestras después del ensayo, ambos materiales sufrieron densificación y aumento de sus dimensiones.



Anexo 2

OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO NATURAL A PARTIR DE FIBRA DE GUADUA Y MICELIO DE ORELLANA

Vanessa Atencio¹, Laura Gallego²

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Sede Medellín, Colombia.

vanessa.atencio@upb.edu.co¹, laura.gallegoc@upb.edu.co²

Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo el desarrollo de un material compuesto de origen natural, que represente una alternativa al poliestireno expandido (EPS), posea unas propiedades mecánicas similares (resistencia al impacto y a la compresión) y sea sostenible. En el proceso se establecieron marcos de referencia con materiales similares que están en el mercado, permitiendo evaluar cada etapa del proyecto y rastrear el desarrollo de este.

Al realizar las pruebas de compresión e impacto al material fibra-micelio se observó que los valores arrojados fueron mas altos comparados con el EPS, se pudo concluir que el material puede verse como una alternativa al EPS comercial.

Palabras Clave: *Materiales compuestos, Guadua Angustifolia Kunth, Pleurotus ostreatus, Materiales sostenibles.*

1 INTRODUCCIÓN

El uso de polímeros en la última década ha presentado a nivel mundial una crisis ambiental debido a las altas cantidades de material que se encuentran desechados y, en muchos casos, no reciclados. Uno de los polímeros que se encuentra inmerso en esta situación es el Poliestireno Expandido (EPS), el cual es usado comúnmente para el empaquetamiento de productos y procesos de embalaje. Sin embargo la mayor dificultad que se presenta con este material se da en su proceso de reciclaje, debido a que solo hay una organización en Colombia que se encarga de estos procesos (1), por lo tanto se han planteado proyectos que han buscado alternativas al uso de productos derivados del petróleo que usan como materia prima materiales de origen natural o desechos de alguna industria como la fibra de bambú que ha sido usado en las construcciones y es reconocido por sus propiedades mecánicas, alta resistencia al impacto, tracción y compresión (2). Gracias a las crisis ambientales que han emergido durante los últimos años se ha desarrollado un nuevo campo en el diseño y la ingeniería: materiales de organismos vivientes, una rama que permite explorar a través de diferentes tipos de microorganismos como hongos y bacterias el desarrollo de nuevos materiales que compiten con los polímeros en diferentes características como propiedades mecánicas, sostenibilidad, consumo energético, entre otros (3).

El objetivo de esta investigación es obtener un material compuesto de origen natural realizado con fibra de Guadua y micelio de Orellana con el propósito de analizar la resistencia al impacto y a la compresión, y determinar si puede ser usado como una alternativa al EPS.

2 METODOLOGÍA

2.1 Determinación de los nutrientes para el desarrollo del micelio

En el marco de la fase de experimentación se llevaron a cabo experimentos que permitían determinar la proporción de nutrientes que necesitaba el micelio para desarrollarse en base a lo planteado por *Ecovative Design* (4), teniendo en cuenta que se estaba trabajando con un micelio diferente al del referente se llevaron a cabo 3 muestras de cada experimento que partían de la literatura y se modificaban para evaluar cualitativamente los cambios, las proporciones evaluadas se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Proporciones empleadas en los ensayos para determinar la cantidad de nutrientes. El tamaño de la muestra fue de 2 g.

Tabla realizada por Laura Gallego.

Determinación de la proporción de nutrientes			
Variable	50%	100% (Usada por <i>Ecovative Design</i>)	150%
Agua (mL)	1,83	3,6	5,4
Harina (g)	0,03	0,06	0,09

2.2 Obtención del material compuesto fibra-micelio

El proceso de obtención comprendía dos etapas: la primera consistía en una limpieza a la fibra y la segunda obtener el material en su primera fase de crecimiento. La fibra fue procesada con

una digestión básica, después de esto, se esterilizó en un autoclave, y se depositaron en un incubador que permitía el intercambio de oxígeno.

Para la obtención del material fibra-micelio, se añadió la fibra, los nutrientes, y el micelio que representa una proporción del 30% de la masa de la muestra. Finalmente, cada muestra fue ubicada en un lugar oscuro, fresco y seco durante 96 h, en ese intervalo, las muestras fueron observadas para analizar el crecimiento del micelio, adicionalmente, se realizó una inspección táctil y visual por medio de un estereomicroscopio Olympus SZ-PT para conocer la propagación del micelio por las fibras y el nivel de humedad que presentaba la muestra.

2.3 Ensayos mecánicos

2.3.1 Fabricación de las probetas.

Tras haber pasado 96 h en proceso de incubación, el material fue sacado de los incubadores y se adicionó el 11% del peso de la fibra en harina, para potenciar el crecimiento del micelio una vez más y se depositaron en moldes de silicona y acetato que tenían la forma de las probetas que serían usadas: las dimensiones dadas por la norma ASTM D638 y una prueba de compresión que usó como referente la norma ASTM D695, con unas probetas cúbicas de 25 mm. Cuando el micelio fue depositado en los moldes, se guardó una vez más en un lugar fresco, seco y sin luz durante 96 h más; pasado el tiempo se desmoldó y secó en un horno a 93°C durante 30min y se dejó enfriar. Cabe resaltar que se evaluaron probetas del material desarrollado y de EPS obtenidas de una lámina comercializada en el Centro de Medellín.

2.3.2 Resistencia al impacto.

Consiste en una muestra del material que se va a ensayar, en forma de una barra rectangular, que posee una muesca en forma de V, esto permite medir la energía necesaria de propagación de

fractura, tal muestra se golpea con un péndulo oscilante, calibrado y así, se obtiene la energía absorbida, las unidades de energía que registra el equipo pueden estar expresadas en pielibras (pie.lbf) o joules (J), donde $1 \text{ pie.lbf} = 1.356\text{J}$ (5).

2.3.1 Resistencia a la compresión.

Esta prueba se realizó con probetas cúbicas de 25mm que se someterán a fuerzas axiales en una máquina universal Instrom 5582 con una celda de carga de 100KN y una velocidad de 10 mm/min, la pruebas se realizaron hasta que las muestras registraron una deformación del 80%.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación de las condiciones alimenticias del micelio

Los ensayos mostraron un desarrollo del micelio en diferentes proporciones, el ensayo (a) fue el que presentó los mejores resultados en términos de expansión del micelio a nivel visual y rigidez del material, este fue el ensayo que se replicó para formar las probetas que serían evaluadas. Los resultados de los ensayos se muestran en la Figura 10.



Figura 10. Crecimiento de los ensayos a las 96 h de incubación. De izquierda a derecha: ensayo 50%, ensayo 100 %, ensayo 150%. Fotografía de Laura Gallego

3.2 Obtención del material compuesto fibra-micelio

El proceso de obtención se realizó en dos etapas, la primera de estas evidenció un crecimiento del micelio constante, acelerado y estable que permitió establecer las proporciones de nutrientes y los tiempos de proceso enunciados en este trabajo, en su segunda etapa, tuvo que trabajarse con un micelio diferente al primero debido a problemas de existencia con el proveedor, recurriendo al micelio distribuido por Setas de Siecha, este micelio tuvo un comportamiento diferente al primero, la primera etapa de crecimiento estaba contemplada en 96 h, sin embargo, el micelio de Setas de Siecha alargó el proceso a casi 200 h; esto no solo alargaba los tiempos de proceso sino que generaba resultados deficientes con respecto al primer micelio y aumentaba las posibilidades de contaminación del incubador debido al tiempo que necesitó para crecer. El contraste entre ambos micelios puede observarse en la Figura 6.



Figura 6. Comparación entre los micelios usados. A la izquierda el micelio proveído por la Universidad de Antioquia, a la derecha el micelio de Setas de Siecha. Fotografía por Laura Gallego

3.3 Ensayos mecánicos

3.3.1 Fabricación de probetas.

Al igual que en el inciso 3.2 se trabajó con dos micelios, en esta etapa se pudo comprobar que el micelio pierde su eficiencia con el transcurso de las semanas, la forma más clara de haberlo evidenciado fue en que el crecimiento del micelio proveído por la Universidad de Antioquia se

ralentizó, mostraba un crecimiento desordenado y lento a comparación de los resultados que pueden verse en el punto 3.1. Con respecto a la comparación entre este micelio y el de Setas de Siecha, el segundo sufrió contaminación de moho verde, esto pudo ocurrir en el alargamiento del proceso de crecimiento inicial; se descartan los procesos de asepsia debido a que fueron los mismos que los usados con el micelio de la Universidad de Antioquia. En la Figura 7 puede observarse la comparación entre las probetas de diferentes micelios.



Figura 7. Probetas de impacto ASTM D638 de diferentes micelios. A la izquierda micelio de la Universidad de Antioquia, a la derecha micelio de Setas de Siecha. Fotografía por Laura Gallego

Se usaron dos tipos de moldes para generar las probetas, las piezas de impacto fueron hechas en moldes de acetato termoformado y las de compresión en moldes de silicona, en el proceso de desmolde, las probetas de compresión mostraron estabilidad dimensional a diferencia de las de impacto, que evidenciaban desprendimiento del material, dejando en claro que los moldes semirrígidos y densos permiten piezas de mayor estabilidad dimensional.

3.3.2 Resistencia al impacto.

La evaluación de las probetas se hizo usando la norma condiciones de temperatura de 26°C y de acuerdo con lo indicado por el técnico Daniel Pelaez. Algunas probetas de micelio no se compactaron correctamente, generando un desprendimiento de material y piezas de espesores variables, además de esto, al deberse de un material fibroso que carece de una rigidez uniforme,

algunas muestras no sufrieron rotura sino descomposición, y dieron como resultado ensayos inválidos. Las piezas que sufrieron rotura y los resultados de la prueba se enuncian en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Resultados de la prueba de resistencia al impacto ASTM D638

Probeta	Energía de fractura (J)
Icopor 1	0.042
Icopor 2	0.18
Icopor 3	0.042
Micelio 1	0.138
Micelio 2	0.207
Micelio 3	0.43

3.3.3 Resistencia al impacto.

La prueba se realizó bajo una temperatura de 25°C y una humedad relativa del 33%. Las probetas mostraron un comportamiento de ensanchamiento y densificación del material bajo los efectos de la fuerza. En la Tabla 3 se muestran los resultados más contundentes del ensayo y la Figura 8 la gráfica de carga de compresión (N) por deformación de la probeta.

Tabla 3. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión

	Carga máxima (N)
Icopor 1	< -221.20
Icopor 2	< -215.26
Icopor 3	< -234.80
Orellana-Guadua 1	< -4535.68
Orellana-Guadua 2	< -4682.41
Orellana-Guadua 3	< -4642.21

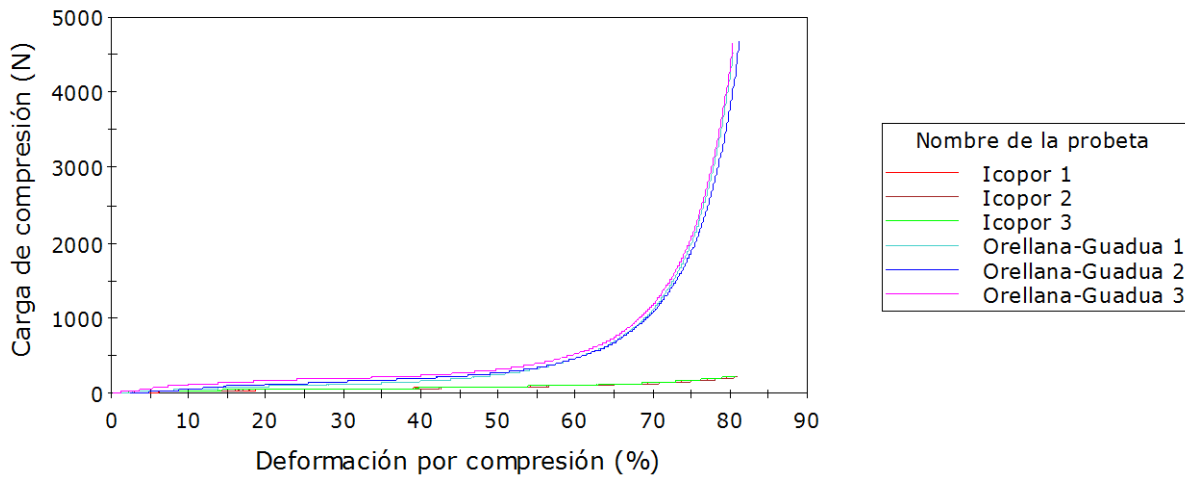


Figura 8. Gráfica de carga vs deformación, evaluación de ambos materiales

Es necesario resaltar que el material obtenido tiene un comportamiento estable en ambos casos gracias al proceso de fabricación en moldes de silicona, y que su resistencia supera en 19 veces a la del polímero, esto puede deberse a las propiedades mecánicas que poseen la Guadua y al papel del micelio como un aglutinante y compactante.

2. CONCLUSIONES

- El micelio de Orellana crece alrededor de la fibra de Guadua, este se adhiere a ella y la usa como medio de expansión por el sustrato.
- El material desarrollado representa una alternativa al Poliestireno Expandido, en las pruebas mecánicas demostró un mejor desempeño que el polímero.
- Esta investigación se realizó bajo los parámetros del producto Grow It Yourself, quedan abiertas las posibilidades de retomar el proyecto y controlar las condiciones ambientales en la fase de crecimiento y desarrollo de las piezas.
- La calidad de las piezas depende del molde en que sean fabricadas, para aquellas piezas que requieran estabilidad dimensionalidad y rigidez se recomienda el uso de moldes rígidos que permitan conservar la humedad y un contramolde que mantenga la presión sobre la pieza.

5. REFERENCIAS

1. **Verde Natura.** Quienes somos. *Fundación Verde Natura*. [En línea] Corpae. [Citado el: 25 de Septiembre de 2018.]. Tomado de: http://fundacionverdenatura.org/Quienes_Somos.html.
2. **Estrada, Martín.** Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. *ResearchGate*. [En línea] Enero de 2010. [Citado el: 30 de Septiembre de 2017.]. Tomado de: <https://www.researchgate.net/publication/281294722?channel=doi&linkId=55e09da208ae6abe6e897507&showFulltext=true>. DOI: 10.13140/RG.2.1.3984.3046.

3. **Camere, Serena y Karana, Elvin.** Fabricating materials from living organisms: An emerging design. *ScienceDirect*. [En línea] 8 de Marzo de 2018. [Citado el: 20 de Julio de 2018.]. Tomado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618307388>.
4. **Ecovative Design.** Ecovative's GIY (Grow It Yourself) How To Video. *Youtube*. 26 de Marzo de 2016.
5. **ASTM International.** *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*. [Documento] West Conshohocken : ASTM International, S.f.
6. **ASTM International.** *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*. [Documento] West Conshohocken : ASTM International, S.f.