

**CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LOSAS COMPUESTAS
NATURALES.**

VASQUEZ VELASQUEZ MARLON

YAIMA MEDINA DIEGO ALEJANDRO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C. 2016

**CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LOSAS COMPUESTAS
NATURALES.**

VASQUEZ VELASQUEZ MARLON

YAIMA MEDINA DIEGO ALEJANDRO

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE PROFESIONAL
EN INGENIERIA CIVIL**

ASESORA

ING. MARTHA LISSETTE SANCHEZ CRUZ

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTA D.C. 2016

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Militar Nueva Granada, por el apoyo brindado durante el desarrollo de la investigación.

Al glorioso Ejército Nacional por brindarnos las herramientas y espacio para el desarrollo del conocimiento como componente integral en el avance del cuerpo de Ingenieros Militares.

Dra. Martha Lissette Sanchez Cruz, por su apoyo y comprometimiento con la causa investigativa, como abanderada del estudio de los materiales naturales a nivel nacional, poniendo su experiencia a favor de la búsqueda del conocimiento bajo el umbral de los principios y valores, en un país donde cada día es más difícil encontrar docentes con sus calidades profesionales y humanas.

Ing. Juan David Caicedo Vasquez, como apoyo fundamental en el proceso de elaboración y desarrollo de la investigación, por formar parte del equipo que busca el conocimiento con dedicación y esfuerzo inagotables.

Dios, Patria y Familia con ellos todo lo podemos.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABLAS.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
JUSTIFICACIÓN.....	11
OBJETIVO GENERAL.....	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
ANTECEDENTES	13
MARCO TEORICO.....	15
Materiales Compuestos	17
Contrachapados.....	17
De partículas	18
De fibras	19
Métodos de Extracción de Fibras Naturales	19
Métodos de Extracción Química:	20
Métodos de Extracción Mecánica:.....	20
Combinación de Métodos Químicos y Mecánicos:.....	20
Métodos de Fabricación de Compuestos.....	20
Moldeo Manual.....	21
Moldeo por inyección.....	21

Moldeo en autoclave.....	21
Moldeo por compresión	21
Resinas utilizadas como aglomerantes	22
Urea-formaldehido	22
Melamínicas	23
Adhesivos naturales que más han sido investigados.....	23
Colofonia	23
Aceite de higuera.....	23
MARCO NORMATIVO.....	25
METODOLOGIA.....	26
Características de la materia prima	26
Extracción de la fibra natural.....	27
Dosificación de los materiales constituyentes.....	28
Elaboración de Tableros Aglomerados.....	30
Determinación de la densidad.....	31
Determinación del contenido de humedad y de la capacidad de absorción	31
Porcentaje de Hinchamiento.....	33
Determinación de la Resistencia a flexión	34
RESULTADOS	36
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Sección transversal de un culmo de bambú.
- FIGURA 2. Partes del culmo de bambú.
- FIGURA 3. Contrachapado de madera.
- FIGURA 4. Aglomerado de partículas.
- FIGURA 5. Aglomerado de fibras.
- FIGURA 6. Método de Moldeo Manual.
- FIGURA 7. Moldeo por compresión en caliente.
- FIGURA 8. Guadual en el Municipio de Guaduas - Cundinamarca
- FIGURA 9. Tratamiento en solución alcalina.
- FIGURA 10. Triturador empleado para obtención de las fibras.
- FIGURA 11. Prensa hidráulica empleada en prensado de losas.
- FIGURA 12. (a) Horno utilizado en la determinación del contenido de humedad,
(b) balanza (arreglar Figura).
- FIGURA 13. Ensayo de flexión en tres puntos.

LISTA DE TABLAS

- TABLA 1. Propiedades físicas de las fibras.
- TABLA 2. Propiedades físicas de la resina vegetal.
- TABLA 3. Dosificación de los materiales constituyentes.
- TABLA 4. Determinación del porcentaje de hinchamiento.
- TABLA 5. Determinación de la densidad.
- TABLA 6. Determinación del contenido de humedad.
- TABLA 7. Determinación de la capacidad de absorción.
- TABLA 8. Comparación de resultados experimentales con valores característicos para un MDF estándar.
- TABLA 9. Resultados del ensayo de flexión.
- TABLA 10. Comparación de resultados del ensayo de flexión con valores característicos para un MDF estándar.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de grado propone la elaboración de aglomerados compuestos naturales reforzados con fibras de bambú aleatoriamente distribuidas en una matriz natural. Para la elaboración de las losas serán utilizadas fibras extraídas de culmos de bambú de la especie *Guadua Angustifolia* Kunth, y resina proveniente de la higuera como matriz del compuesto. Para el análisis del comportamiento de las losas se propone adoptar los fundamentos que rigen la fabricación y desempeño de materiales compuestos poliméricos, debido a que a la fecha no existe una normativa o una teoría específica que regule el comportamiento de compuestos totalmente naturales. El material natural a utilizar como refuerzo debe satisfacer las recomendaciones de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) en cuanto a edad, propiedades físicas, clasificación visual, tratamientos preservativos y caracterización mecánica. La obtención de las fibras de *Guadua* se realizará por medio de un proceso de trituración mecánica. Para la confección del compuesto se aplicará un método de impregnación y curado. La caracterización mecánica estará centrada en la evaluación de la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad a flexión

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aplicación de materiales no convencionales de bajo costo y reducido consumo de energía, ha crecido en la ingeniería moderna, fundamentalmente en el sector de la construcción, en el cual, la necesidad de reducir el impacto ambiental generado por el uso de materiales tradicionales y al mismo tiempo contribuir a dar solución a la crisis habitacional por la que atraviesa parte de la población a nivel internacional, ha despertado el interés de numerosos investigadores por profundizar en el estudio de materiales ecológicos, biodegradables y cuyas propiedades físicas y mecánicas lo coloquen en una situación competitiva al ser comparados con los materiales usualmente utilizados en la ingeniería civil.

América Latina desde hace varias décadas se ha destacado por incentivar la utilización de materiales de origen natural en el diseño y construcción de puentes peatonales y construcciones rurales, siendo Brasil y Colombia referentes regionales en el estudio de materiales naturales que propicien el desarrollo de una ingeniería civil sostenible.

Entre los materiales alternativos más estudiados y utilizados a nivel regional se destaca el bambú en su forma rolliza, una gramínea considerada un material compuesto natural funcionalmente graduado, formado por fibras de celulosa las cuales pueden ser extraídas del culmo para su utilización como refuerzo en elementos estructurales, ampliando la gama de posibilidades de utilización que el material ofrece.

Este proyecto de investigación propone el diseño, elaboración y caracterización física y mecánica de aglomerados compuestos naturales, reforzados con fibras de bambú aleatoriamente distribuidas en una matriz natural. Para el diseño y elaboración de las losas se plantea la utilización de fibras extraídas de culmos de bambú de la especie

Guadua *Angustifolia* Kunth, para la obtención de las fibras y utilizar resina proveniente de la higuera como matriz del compuesto. Para el diseño y análisis del comportamiento de las losas se propone adoptar los fundamentos que rigen la fabricación y desempeño de materiales compuestos poliméricos, debido a que a la fecha no existe una normativa o una teoría específica que regule el comportamiento de compuestos totalmente naturales. El material natural a utilizar como refuerzo debe satisfacer las recomendaciones de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) en cuanto a edad, propiedades físicas, clasificación visual, tratamientos preservativos y caracterización mecánica. La obtención de las fibras de Guadua se realizará por medio de un proceso de trituración mecánica. Para la confección del compuesto se aplicará un método de impregnación y curado. La caracterización física y mecánica estará centrada en la determinación de la capacidad de absorción, contenido de humedad, densidad, porcentaje de hinchamiento, módulo de rotura y módulo de elasticidad de probetas elaboradas de acuerdo a las especificaciones de la ASTM D1037-12. Todas las probetas analizadas son elaboradas a partir de las losas elaboradas.

JUSTIFICACIÓN

Estudios recientes indican que además de la utilización del bambú en forma rolliza o como laminado, es posible el aprovechamiento de las fibras como material de refuerzo, para lo cual es necesario encontrar una forma adecuada de combinación de las fibras de bambú con una resina para la obtención de un material compuesto en el cual se garantice un adecuado desempeño físico y mecánico. La utilización de fibras de bambú como refuerzo de compuestos requiere el conocimiento de su composición química y la selección de un método de tratamiento y extracción adecuado. A pesar de que en los últimos años se han realizado trabajos que se enfocan en el aprovechamiento de fibras vegetales (bagazo de caña, cascarilla de café, *Bambusa Vulgaris*) en la elaboración de compuestos poliméricos a la fecha no existe en Colombia una metodología definida para la elaboración y análisis de compuestos naturales que empleen poliuretanos de origen vegetal en su proceso de fabricación.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la resistencia a flexión de aglomerados compuestos con fibras de guadua aleatoriamente distribuidas y resina vegetal

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Aplicar la teoría de materiales compuestos tradicionales en el estudio del comportamiento mecánico de aglomerados compuestos naturales.
2. Elaborar aglomerados compuestos reforzadas con fibra vegetal.
3. Determinar la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad de aglomerados compuestos naturales.
4. Cumplir con compromiso del proyecto INV-ING 2119

ANTECEDENTES

Debido a sus múltiples ventajas, la aplicación de materiales naturales y el aprovechamiento de sus fibras como material de refuerzo en la fabricación de materiales compuestos han ganado importancia en la ingeniería civil. Algunas de las ventajas de este tipo de material fueron resumidas por Bledzki y Gazzan (1999) y son citadas a continuación:

- 1.- Amplia disponibilidad en la naturaleza.
- 2.- Buena relación resistencia /peso
- 3.- No son tóxicas
- 4.- Son biodegradables
- 5.- Altas propiedades específicas.

Entre las limitaciones del uso del material es necesario destacar la falta de uniformidad de las propiedades físicas de las fibras, ya que estas dependen del origen de la fibra natural.

Estudios realizados en los últimos años muestran la utilización de resinas de origen vegetal como posibles substitutos de aglomerantes que tradicionalmente han sido utilizados como fase continua en la fabricación de compuestos. Algunos de estos trabajos son citados de forma cronológica:

F.J. José & A.L. Beraldo (2010) determinaron las propiedades físicas y mecánicas de chapas elaboradas con pulpa de bambú de la especie *Bambusa Vulgaris*, (Desarrolla grandes tallos de gran contextura y crecen hasta 15 metros) y un porcentaje entre 5 y 15% de resina vegetal proveniente de la planta *Ricinus Communis* .

J. Fiorelli et al (2011) estudio las propiedades físicas (contenido de humedad, capacidad de absorción) y las propiedades mecánicas (módulo de rotura y módulo de elasticidad a flexión) de un material compuesto reforzado con fibras de bagazo de caña.

N. P. Marinho et.al. (2013) analizó el aprovechamiento de los residuos del corte del bambú de la especie *Dendrocalamus Giganteus* (mejor conocida como bambu del dragon, crece en el sudetes asiatico y es una de las mas grandes del mundo), en la elaboración de un aglomerado usado 20% de resina vegetal. La determinación de las propiedades mecánicas del material consistió en la determinación de la dureza del aglomerado.

Oliveira & D´ Almeida (2014) estudiaron el comportamiento de un compuesto a base de fibra de tururi (residuo a partir del fruto de la palma ubucu, conocida por su utilidad en articulos de moda y accesorios femeninos) y resina polimérica desarrollada a partir del aceite de la higuera, en la elaboración de pisos y revestimientos. Este estudio estuvo basado en analizar la resistencia a la abrasión que este tipo de material posee.

E. Pereira (2014), estudió las propiedades de un mortero elaborado con fibras de piassaba (palma de la amazonia media que en su etapa de madurez desprende fibras de gran resistencia que llegan hasta los dos metros de longitud) y una resina vegetal. Los ensayos de laboratorio se desarrollaron con probetas con diferentes porcentajes de resina vegetal y de fibras a las que le fueron realizadas pruebas de compresión, fractura y flexión en tres puntos.

MARCO TEORICO

El bambú es una gramínea que pertenece al género *Bambusoidae* y es una de las especies no maderables más abundantes en Colombia (Estrada Mejia, 2010), donde la especie más conocida es la especie *Angustifolia*, la cual se distingue no solo por sus excelentes características físicas (diámetro, altura y espesor de pared) sino también por su elevada resistencia mecánica (tensión, compresión y cortante) y su buena durabilidad.

A diferencia de las plantas maderables, cuyo tronco crece tanto en sentido longitudinal y radial, hasta alcanzar sus máximas dimensiones, el bambú emerge del suelo con el diámetro máximo que tendrá durante su vida, el cual varía a lo largo de su altura. Sus fibras contribuyen con aproximadamente el 50 % del volumen total del culmo y con casi el 70 % del peso de la planta y su contenido de fibras varia no solo en toda la altura de la planta, sino también en todo el espesor de su pared, motivo por el cual es posible afirmar que se trata de un material compuesto con “funcionalidad graduada”

Desde el punto de vista de su morfología, los culmos son formados por cascarras esbeltas huecas y cilíndricas. El espacio vacío en su interior es llamado cavidad. Estas cavidades se encuentran separadas por diafragmas o nudos, los cuales le aportan rigidez a la planta. La posición entre dos nudos es llamada internodo y poseen una pared de espesor variable. Los culmos difieren de acuerdo a la especie en longitud, diámetro y distancia intermodal (Ghavami & Marinho, 2001). La Figura 1 muestra una sección transversal de un culmo de bambú

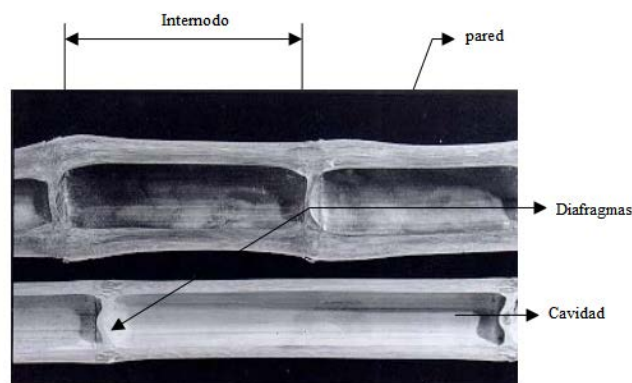
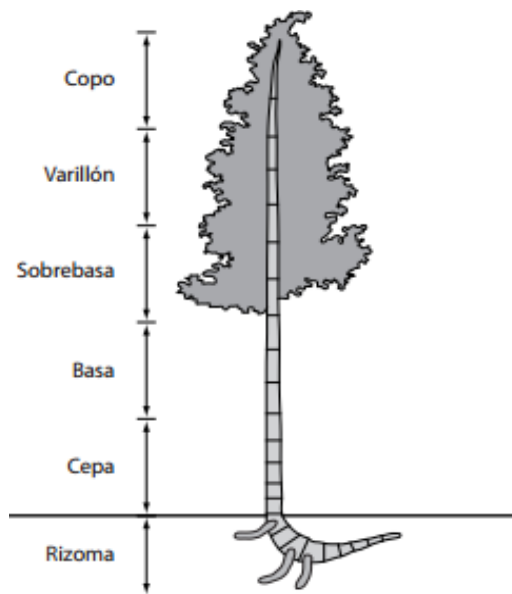


Figura 1: Sección transversal de un culmo de bambú. (Sánchez, 2002)

El culmo de bambú consta de seis partes principales: rizoma, cepa, basa sobrebasa, varillón y copo. Cada una de las partes difiere en sus características físicas principalmente en la distancia intermodal, diámetro, espesor y porcentajes de fibras. (Ver Figura 2).



Rizoma: Es el soporte de la planta. Es el lugar por donde la guadua absorbe los nutrientes

Cepa: Es la parte del culmo con mayor diámetro y espesores de pared. Las distancias de cañutos son las más cortas y en la construcción se les utiliza como columnas.

Basa: El diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa. Es la parte del culmo de la guadua que más se utiliza.

Sobrebasa: El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor, comparado con la basa.

Varillón: La sección tiene un diámetro pequeño y la longitud es de unos tres metros aproximadamente. Es la que menor contenido de lignina posee

Copa: Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.00 metros.

Figura 2: Partes del culmo de bambú (fuente Estrada Mejia, 2010)

El bambú es un compuesto polimérico, anisotrópico y no homogéneo. Desde el punto de vista de su composición está formado principalmente por fibras de celulosa, responsable por la resistencia mecánica, lignina la cual le aporta rigidez a la planta y le proporciona buena durabilidad a los tejidos, protegiéndolos de la acción de microorganismos y hemicelulosa, un polisacárido de baja resistencia constituido por moléculas de sacarosa. Otro compuestos encontrados son cenizas, alcohol benceno y pentosas.

Desde el punto de vista físico su humedad natural varía entre el 13 al 20%, en función de la contenido de humedad de equilibrio de la región. Es un material higroscópico. Su Coeficiente de dilatación térmica varía en el sentido longitudinal y transversal. En el sentido longitudinal es menor que el del acero y del concreto ($\alpha = 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$), mientras que en el sentido transversal es aproximadamente cinco veces mayor. La conductividad térmica es aproximadamente 15 % menor que para La madera, en las mismas condiciones de humedad.

Materiales Compuestos

Se llama material compuesto a la combinación de dos o más materiales para formar un material de propiedades físicas y químicas diferentes y superiores a las propiedades de los materiales constituyentes por separado (Smits, 2003). Cada uno de los materiales constituyentes por separado es responsable por determinada propiedad del compuesto: la parte continua (matriz) es la responsable de las propiedades físico químicas del material, mientras que la fase dispersa (fibra) es la responsable de las propiedades mecánicas.

Se define como aglomerado un material compuesto conformado a partir del empleo de un material lignocelulósico como fase dispersa y una resina como fase continua (Monterroso, 2013).

A partir de la configuración física de las fibras es posible clasificar los aglomerados en tres categorías:

Contrachapados:

Son elaborados con un número impar de láminas orientadas alternativamente. La forma de conformación influye en la resistencia mecánica y en la estabilidad dimensional de este tipo de aglomerado. (Ver Figura 3)



Figura 3: Contrachapado de madera. Fuente: <http://www.pizano.com.co/laminas/>

De partículas:

Son fabricados por la unión de partículas y resinas. Las partículas son conglomerados de fibras con tamaño y forma diversa las cuales son prensadas en unión a un adhesivo. Según la FAO “El material para los tableros, de partículas es de múltiples procedencias y, al aumentar la competencia por la madera sólida y los residuos sólidos de madera, los fabricantes tienen que recurrir al empleo de residuos de baja calidad, como desperdicios de astillado, aserrín, virutas, etc, así como a especies madereras que antes no se tomaban en consideración”. (Ver Figura 4)



Figura 4: Aglomerado de partículas. Fuente: <http://www.pizano.com.co/laminas/>

De fibras:

Según la FAO “un tablero de fibras es un tablero fabricado con fibras de madera u otros elementos lignocelulósicos utilizando como ligazón primaria las fibras afieltradas y sus propiedades de cohesión inherentes” (Ver Figura 5)



Figura 5: Aglomerado de fibras. Fuente: <http://www.tableroshuertas.es/html/tableros-de-madera-aglomerado-virutas.htm>

Métodos de Extracción de Fibras Naturales

Una de las etapas fundamentales en el tratamiento de la materia prima necesaria es la eliminación de la lignina que el bambú posee y la selección de un método para la obtención de las fibras. De acuerdo a (Ortiz 2009) la lignina es un polímero aromático de estructura amorfa, que actúa en la planta como aglutinante, confiriéndole a las fibras rigidez y protegiéndolas de ataques de microorganismos. A pesar de las funciones de la lignina en la planta, es recomendable realizar su separación de las fibras vegetales para garantizar una adecuada adherencia fibra matriz en materiales compuestos.

Son varios los métodos de extracción que pueden ser utilizados para la obtención de fibras vegetales. Estos métodos pueden ser clasificados en:

Métodos de Extracción Química:

Los métodos de extracción química consisten en eliminar las regiones amorfas de entrenudos de culmos de bambú, reduciendo el contenido de lignina adherido a las fibras de celulosa por medio de la utilización de soluciones ácidas o alcalinas (Kaur et. al, 2013). Usualmente el material se expone durante varios ciclos a una solución química con condiciones de concentración, temperatura, tiempo y presión predefinida, para obtener fibras en forma de pulpa. Usualmente soluciones de hidróxido de sodio, silicato de sodio y sulfito de sodio son empleados en este procedimiento.

Métodos de Extracción Mecánica:

Consisten en extraer las fibras ya sea de forma manual o con la ayuda de equipos de trituración. Estos métodos son considerados poco eficientes (Estrada Mejia, 2010) ya que pueden generar daño mecánico a las fibras y en ocasiones los compuestos desechables no son separados de forma adecuada

Combinación de Métodos Químicos y Mecánicos:

Consiste en la combinación de los métodos de extracción química y mecánica. El procedimiento se divide en dos etapas: en la primera etapa se sumerge el material en solución alcalina, en condiciones controladas de temperatura y presión, provocando el “ablandamiento del material”, mientras que en la segunda etapa el material tratado se tritura por medios mecánicos hasta alcanzar el espesor y longitud de fibra deseada.

Métodos de Fabricación de Compuestos

De acuerdo a (Smith 2004) los procesos de fabricación de compuestos poliméricos pueden ser clasificados en procesos de molde abierto y procesos de molde cerrado. Algunos de los métodos más conocidos son citados a continuación:

Moldeo Manual:

Se colocan capas de fibras sobre un molde y se impregnan de resina de forma manual, utilizando un rodillo o una brocha. El proceso se repite hasta alcanzar el espesor deseado, sin someter el material a efectos de temperatura o presión. (Ver Figura 6).

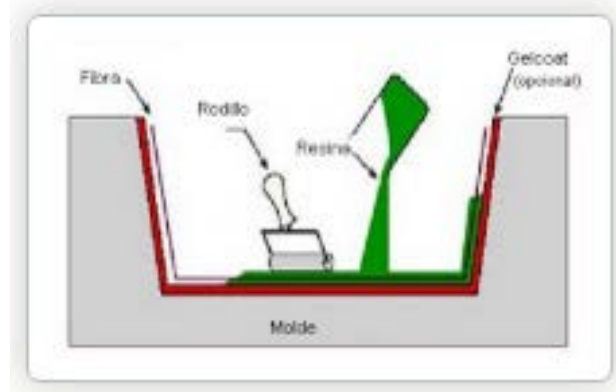


Figura 6: Método de Moldeo Manual. Fuente:

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/11/moldeo-manual-de-materiales-compuestos.html>

Moldeo por inyección:

Se proyectan de forma simultánea sobre el molde la resina y la fibra y se pasa un rodillo hasta alcanzar el endurecimiento del material.

Moldeo en autoclave:

Se impregnan con resina capas de fibras unidireccionales y se curan parcialmente formando un tejido pre-impregnado el cual se coloca en un molde y se lleva a una autoclave con condiciones de presión y temperatura establecidas para efectuar su curado.

Moldeo por compresión:

El moldeo por compresión es un método de moldeo en el que el material es colocado en un molde abierto. El molde se cierra y se aplica presión para forzar al material a entrar en contacto con todas las áreas del molde. La presión se mantiene durante un periodo de

tiempo, en función del tipo de resina empleada. En algunos procesos también es requerida la aplicación de calor para garantizar el curado del material. (Ver Figura 7)

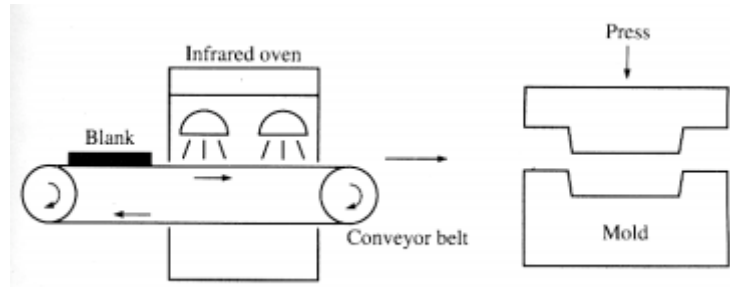


Figura 7: Moldeo por compresión en caliente. Fuente: atarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/viladoms_w_jj/capitulo1.pdf

Resinas utilizadas como aglomerantes

Tradicionalmente los aglomerantes utilizados en la elaboración de compuestos son resinas sintéticas. No obstante, la creciente búsqueda de nuevos productos, amigables con el medio ambiente, ha provocado el desarrollo de nuevos productos de origen natural. Entre las resinas sintéticas se destacan:

Urea-formaldehído:

Son resinas termoestables utilizadas como soluciones o dispersiones acuosas o en forma de polvos solubles. Luego del endurecimiento son insolubles y no se pueden volver a fundir. Se caracterizan por su alta reactividad y su baja resistencia a la humedad a elevadas temperaturas. Alcanzan períodos cortos de tiempo de prensado en caliente, una ventaja deseable en la producción de tableros.

Melamínicas:

Además de la resistencia a la humedad, este tipo de resinas son resistentes al calor y los ácidos. Son producidas por policondensación de melamina y de formaldehído. Contienen pocas cantidades de fenol, para incrementar la resistencia a la humedad en exteriores.

Fenólicas: Poseen alta resistencia a la hidrólisis. Son pegamentos usados para tableros serán usados exteriores y para revestimientos. El tiempo de prensado necesario para el endurecimiento es más largo en comparación a las resinas ureicas, lo que presenta una desventaja en su utilización.

Adhesivos naturales que más han sido investigados:

Almidón: Formado por dos polímeros, amilosa y amilopectina. La alta fuerza de unión entre las moléculas causa que los gránulos permanezcan enlazados e impide que el almidón actúe como adhesivo a bajas temperaturas. Por lo tanto el almidón debe ser modificado por calor, por tratamiento químico, o por oxidación (Monterroso, 2013).

Colofonia:

Es el residuo no volátil de la destilación de la resina de pino (u otros árboles de coníferas) para la obtención de la fracción volátil, la terpentina.

Aceite de higuera:

Es un líquido viscoso obtenido de la planta “Ricinus Communis”. Es una planta de tallo grueso, leñoso y hueco. El aceite es obtenido por prensado de sus semillas y procesado para ser utilizado como adhesivo en las siguientes aplicaciones:

- Pisos en concreto de instalaciones industriales;
- Pisos en concreto de oficinas y galpones rurales
- Pisos en madera

- Impermeabilización de superficies
- Aglomerante para la elaboración de compuestos reforzados con fibras vegetales

MARCO NORMATIVO

NTC 5525 Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia Kunth.

NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

ASTM D1037-12. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.

METODOLOGIA

El desarrollo por etapas del proyecto se basa en la caracterización a grandes rasgos del material, guadua en estado rollizo, con un proceso combinado ,químico y mecánico, de extracción para la obtención de las fibras tal como quedan finalmente en el tralero que se elabora en una prensa hidráulica y sobre el cual se llevan a cabo las distintas pruebas con base en las normas establecidas.

Características de la materia prima

Para la obtención de las fibras se utilizará sobrebasa de culmos de bambú de la especie *Guadua Angustifolia Kunth* (Ver Figura 7), proveniente del Municipio de Guaduas, (Alcaldía de Guaduas, 2016). Este municipio se encuentra situado al noroccidente del Departamento de Cundinamarca, a una distancia de Bogotá por carretera de 114 kilómetros, vía Sasaima y 117 kilómetros, vía la Vega. Su territorio tiene un área de 757 kilómetros cuadrados y limita por el norte con Puerto Salgar, por el oriente con Caparrapi, Útica, Quebrada negra y Villeta, por el sur con Vianí y Chaguaní y por el occidente con los Departamentos de Caldas y Tolima. El municipio cuenta con una altitud de 992 metros sobre el nivel del mar, una temperatura media de 23.5° C y una humedad promedio de 61%. Los culmos utilizados tienen edad entre 4 – 6 años y se encuentran inmunizados de acuerdo a las recomendaciones de la norma Técnica Colombiana NTC 5301.



Figura 8: Guadua en el Municipio de Guaduas - Cundinamarca (Alcaldía de Guaduas. 206AD)

El material utilizado como aglomerante es una resina a base de poliuretano vegetal proveniente del aceite de higuera, bicomponente, formulado a partir de la mezcla en dióxido de un pre-polímero y un polioliol, lo cual le confiere al aglomerado alta durabilidad, buena resistencia a los rayos ultravioletas y buena adherencia.

Extracción de la fibra natural

El proceso de extracción de fibras se realizó por combinación de Método Químico y Mecánico. Para la eliminación de la lignina las fibras fueron tratadas en solución de hidróxido de sodio con concentración de 20% por un periodo de 96 horas (ver Figura 9). Este proceso fue seguido de lavado en agua y secado en horno hasta masa constante.

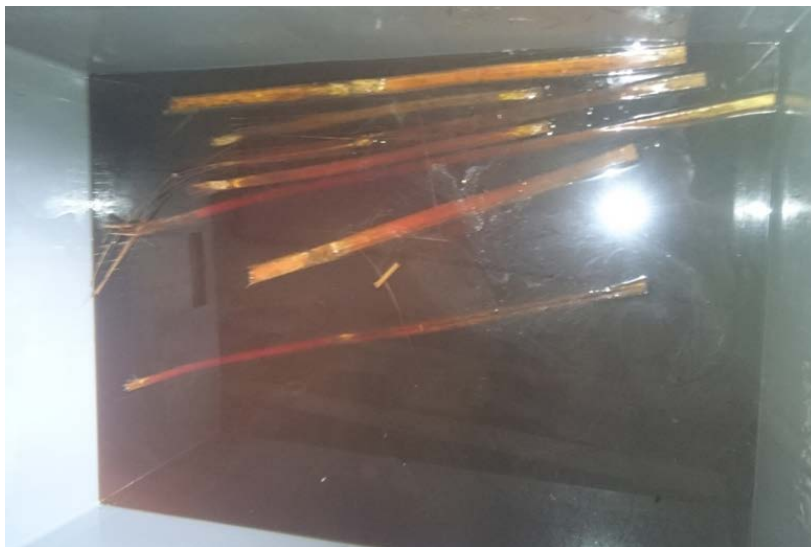


Figura 9: Tratamiento en solución alcalina

Para el proceso de extracción mecánico se utilizó un triturador compuesto por un sistema de rodillos acoplados a un moto-reductor que permite la obtención de fibras que posteriormente fueron cortadas en carpintería para la obtención de fibras de hasta 4 cm de longitud. La figura 10 muestra el triturador empleado.



Figura 10: Triturador empleado para obtención de las fibras

Dosificación de los materiales constituyentes

Uno de los aspectos a considerar en el diseño de materiales compuestos es la determinación del contenido de fibras y resina a utilizar en la confección del material, ya que a mayor volumen de fibras aumenta no solo la resistencia mecánica del compuesto sino también su rigidez. Estudios recientes han demostrado que al aumentar el porcentaje de fibras por encima del 80% no es posible garantizar la distribución uniforme de la resina, lo cual puede provocar pérdida de resistencia, afectando el desempeño estructural del compuesto. Es por este motivo, que en este trabajo se propone una dosificación de 60% fibras y 40% de resina vegetal.

Para la determinación de las cantidades de fibra y matriz se consideró el área del molde de acero elaborado para realizar el moldeo y prensado de tableros de 300 x 300 mm y se fijó un espesor promedio de 10 mm. Para determinar las masas de fibra y matriz se tomó como referencia los datos de la caracterización física de las fibras suministrada por el semillero de investigación SEMAT, del grupo de investigación de Estructuras y sísmica de la Universidad Militar Nueva Granada (Ver Tabla 1). Los datos de la resina vegetal fueron suministrados por el proveedor de la misma (Ver Tabla 2).

Tabla 1. Propiedades físicas de las fibras

Propiedad	Valor promedio
Contenido de Humedad (%)	7,62
Capacidad de absorción (%)	62,50
Densidad aparente (gr/cm ³)	0,75

Tabla 2. Propiedades físicas de resina vegetal (información suministrada por el proveedor)

Propiedad	Componente "A"	Componente "B"
Estado físico	Líquido	Líquido
Color	Marrón	Ámbar
Forma	Viscosa	Viscosa
Punto Ebullición	190°C	313°C
Punto de fusión	-14°C	-10°C
Densidad relativa (a temperatura ambiente)	1,25 g/cm ³	0,98 g/cm ³

Teniendo en cuenta que tal y como se muestra en la Tabla 2, la resina vegetal es una resina bi-componente, es necesario considerar en que proporciones deben ser mezclados los componentes A y B, pues esta proporción incide directamente en el cálculo de la determinación de sus masas y la conformación de la matriz del compuesto. La proporción de mezcla se selecciona de 1:1,5 por sugerencia del proveedor de la resina (una parte de componente A y una parte y mitad de componente B, en volumen. Con estas proporciones se garantiza una trabajabilidad aproximada de 15 minutos. Una vez conocidas las características físicas de los materiales constituyentes y definidos los porcentajes de mezcla. Se determinan las masas de fibra y matriz por medio de la ecuación 1.

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Donde:

ρ es la densidad en gr/cm^3 .

m es la masa en gr.

V es el volumen en cm^3 .

Los datos de la dosificación de fibras, Componente de resina A y componente de resina B son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3: Dosificación de los materiales constituyentes

Material	Densidad (gr/cm^3)	Volumen (cm^3)	Masa (gr)
Fibras	0,74	540	400
Componente "A"	1,25	144	180
Componente "B"	0,98	216	212

Elaboración de Tableros Aglomerados

La elaboración de tableros aglomerados conformados con fibras de guadua aleatoriamente distribuida y resina proveniente del aceite de higuera, fue realizada utilizando el método de moldeo manual y compactación por prensado (compresión).

El método consiste en aplicar sobre un molde de acero de 30 x 30 x 5 cm capas de fibras aleatoriamente distribuidas, realizando la impregnación con la resina de forma manual y una compactación preliminar para evitar grumos de fibras y garantizando la distribución uniforme de la resina en el molde. Una vez el material colocado en el molde, el mismo se coloca en la prensa, se cierra y se aplica una carga de compactación adecuada para obtener

el espesor deseado. En el proceso de prensado se utilizó una prensa hidráulica, diseñada para aglomerados de guadua, la cual posee un marco de ensayo de alta rigidez conformado por cuatro columnas con capacidad de 100 toneladas, un indicador digital, un transductor de presión de 10.000 psi y una bomba manual. La carga de compactación utilizada fue entre 10–15 toneladas. El tiempo de prensado fue de 18 horas para cada tablero. La prensa utilizada en el proceso de compactación es mostrada en la Figura 10.



Figura 11: Prensa hidráulica empleada en prensado de losas

Determinación de la densidad

La densidad fue determinada a partir de la relación entre la masa y el volumen (ver Ecuación 1), de 6 probetas de 40 x 140 mm y espesor variable entre 7 y 9 mm, extraídas de cuatro losas elaborados de acuerdo al procedimiento descrito en la sección anterior.

Determinación del contenido de humedad y de la capacidad de absorción

Para el estudio fue utilizado un horno Memmert type U40, con temperatura máxima de 300 °C y una incertidumbre de +/- 0.36° a 100°C. Para el proceso de pesaje se utilizó una balanza de Sartorius ENTRIS4202I-1S, con resolución de 0,001gr. La Figura 2(a)

muestra el horno utilizado para la determinación del contenido de humedad. La balanza utilizada en la determinación del contenido de humedad es presentada en la Figura 11 (b).



(a)



(b)

Figura 12. (a) Horno utilizado en la determinación del contenido de humedad, (b) balanza.

Para determinar el contenido de humedad fueron utilizadas 3 probetas de área igual a 60 cm² (ancho de 4,2 cm, largo de 14,3cm), registrando la masa inicial. Posteriormente las probetas son introducidas en horno el horno a 110° C durante 24 horas, al final del secado se le toma nuevamente la masa para determinar el contenido de humedad como se expresa en la Ecuación 2.

$$\%CH = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100 \quad (2)$$

Donde:

% CH es el Contenido de Humedad.

m_h es la masa húmeda en gr

m_s es la masa seca en gr

Para la determinación de la capacidad de absorción se determinó la masa de 3 probetas de 20 x 140 mm y espesor variable entre 7-9 mm en dos estados: superficie seca sobresaturada y seca al horno. Para la determinación de las masas las muestras fueron sumergidas en agua por un periodo de 24 horas y posteriormente llevadas a la condición de superficie seca sobresaturada. Una vez obtenida la masa en esta condición fue posible determinar la capacidad de absorción de acuerdo a la Ecuación 3.

$$\%A = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s} * 100 \quad (3)$$

Donde:

$\%A$ es la capacidad de absorción

P_s es la masa en condición de seca al horno en gr

P_{sss} es la masa en condición de superficie seca sobresaturada en gr

Porcentaje de Hinchamiento

Para la determinación del porcentaje de hinchamiento se utilizaron 3 probetas de 50 x 50 mm y espesor correspondiente al espesor de las losas. A cada probeta se le determinó el espesor promedio. Las probetas fueron sumergidas en agua por un periodo de 24 horas y una nueva medición de espesor fue realizada. El porcentaje de hinchamiento se determinó a partir de la diferencia de espesor (ver Ecuación 4).

$$\%H = \frac{e_f - e_i}{e_i} * 100 \quad (4)$$

Donde:

$\%H$ es el porcentaje de hinchamiento

e_i es el espesor inicial en mm

e_f es el espesor final en mm

Determinación de la Resistencia a flexión

El ensayo de flexión se realizó de acuerdo a las recomendaciones de la ASTM D1037-12. Para el ensayo se utilizaron 5 probetas con un ancho igual a 76 ± 1 mm, longitud de 254 ± 1 mm y espesor entre 6mm-8 mm, a la cual se le aplicó una carga uniformemente distribuida a lo ancho en la parte central. La probeta se apoyó en dos puntos, con una separación de 24 veces el espesor de la probeta. El montaje del ensayo es ilustrado en la Figura 12.

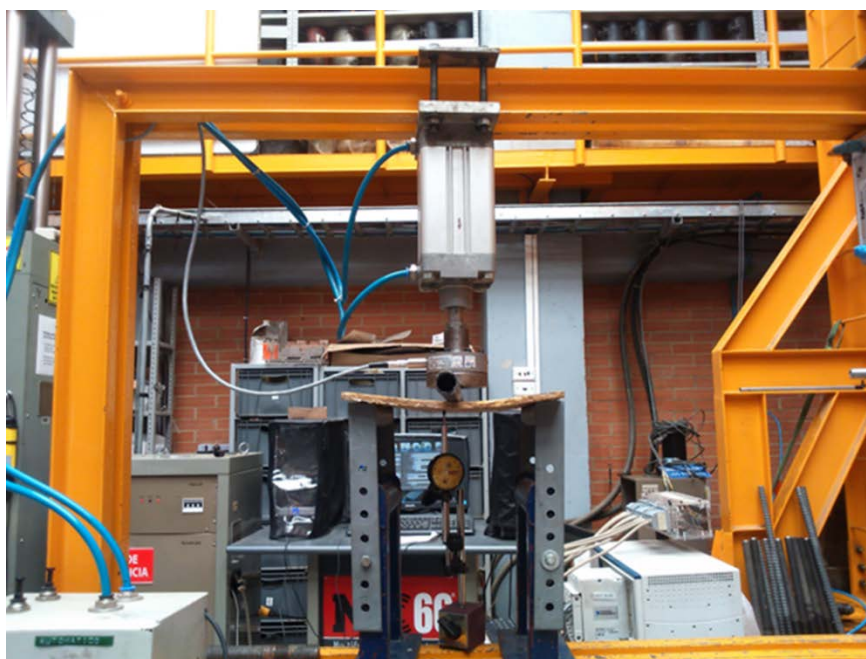


Figura 13: Ensayo de flexión en tres puntos

La fuerza ejercida por el equipo se aplicó de manera constante sobre la probeta. La velocidad de aplicación de la carga fue de 0,5 mm/min. A partir de los datos recolectados

es posible determinar el módulo de rotura y el módulo de elasticidad a flexión por medio de las ecuaciones 5 y 6.

$$R_b = \frac{3P_{\max}L}{2bd^2} \quad (5)$$

$$E = \frac{L^3}{4bd^3} \frac{\Delta P}{\Delta y} \quad (6)$$

Donde:

R_b es la resistencia a flexión

P_{\max} es la carga máxima

L es la distancia entre apoyos

B es el ancho de la sección transversal

D es el espesor de la probeta

$\frac{\Delta P}{\Delta y}$ es la pendiente del gráfico carga vs deflexión calculada entre el 10% y el 40 % de la carga máxima.

E es el módulo de elasticidad a flexión

RESULTADOS

Los resultados de la determinación de las propiedades físicas son presentadas en: Tabla 4. Determinación del porcentaje de hinchamiento, Tabla 5. Determinación de la densidad, Tabla 6. Determinación del contenido de humedad y Tabla 7. Determinación de la capacidad de absorción.

Tabla 4: Determinación del porcentaje de hinchamiento

Probetas	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	%H
Probeta 1	7,38	8,20	11,11
Probeta 2	8,63	9,70	12,40
Probeta 3	8,98	9,83	9,47
Promedio	8,33	9,24	10,99
desviación estándar	1,02	1,06	1,18
Coefficiente de variación	12,20	11,42	10,76

Tabla 5: Determinación de la densidad

Probetas	Masa (gr)	Volumen (cm³)	densidad
Probeta 1	187,74	168,75	1,11
Probeta2	199,39	195,75	1,02
Probeta3	186,68	171,00	1,09
Probeta 4	185,20	168,75	1,10
Probeta 5	188,48	195,75	0,96
Probeta 6	184,99	171,00	1,08
Promedio	188,75	178,50	1,06
Desviación estándar	8,52	21,19	0,09

Coefficiente de variación	4,52	11,87	8,64
---------------------------	------	-------	------

Tabla 6: Determinación del contenido de humedad

Probetas	Masa húmeda (gr)	Masa seca (gr)	CH (%)
Probeta 1	95,70	92,80	3,13
Probeta2	102,80	100,80	1,98
Probeta3	95,50	93,60	2,03
Promedio	98,00	95,73	2,38
Desviación estándar	4,00	4,28	0,49
Coefficiente de variación	4,09	4,47	20,68

Tabla 7: Determinación de la capacidad de absorción

Probetas	Masa seca sobresaturada (gr)	Masa seca (gr)	A (%)
Probeta 1	52,20	42,40	23,11
Probeta2	49,50	43,10	14,85
Probeta3	62,40	51,70	20,70
Promedio	54,70	45,73	19,55
Desviación estándar	7,08	5,46	4,32
Coefficiente de variación	12,95	11,94	22,07

Los resultados presentados en las Tablas 4, 5 y 7 pueden ser comparados con los valores para un MDF estándar tipo Tablemac (Ver Tabla 8).

Tabla 8: Comparación de resultados experimentales con valores característicos para un MDF estándar

	Compuesto natural	MDF estándar
% Hinchamiento	10,99	Máx 20
Densidad (gr/cm ³)	1,06	0,7

Capacidad de absorción (%)	22,07	50 – 60 %
----------------------------	-------	-----------

Los resultados de la determinación del módulo de rotura y el módulo de elasticidad son presentados en la Tabla 9.

Tabla 9: Resultados del ensayo de flexión

Probeta	Carga (kN)	Espesor (mm)	Ancho (mm)	MOR (Mpa)	E (Mpa)
Probeta 1	0,48	8,29	73,90	29,25	1446,55
Probeta 2	0,48	8,89	75,10	25,84	1222,48
Probeta 3	0,42	8,27	75,18	26,08	1365,42
Probeta 4	0,38	7,85	74,68	26,40	1681,85
Probeta 5	0,34	8,38	74,86	20,68	2011,52
Promedio	0,42	8,33	74,74	25,65	1545,57
Desviación estándar	0,06	0,33	0,46	2,77	276,52
Coefficiente de variación	0,00	0,11	0,21	7,68	76,46

Los resultados presentados en la Tabla 9 pueden ser comparados con los valores para un MDF estándar tipo Tablemac (Ver Tabla 10)

Tabla 10: Comparación de resultados del ensayo de flexión con valores característicos para un MDF estándar

	Compuesto natural	MDF estándar
Módulo de Rotura (MPa)	25,65	23
Módulo de Elasticidad (MPa)	1545,57	2300

CONCLUSIONES

A partir de los resultados experimentales puede observarse que la dosificación de los materiales constituyentes utilizada permite la elaboración de tableros aglomerados de mayor densidad, cuando comparados con tableros comerciales disponibles en el mercado. Este aumento de densidad puede ser relacionada a una notable mejoría en las propiedades físicas del material, específicamente en su estabilidad dimensional, lo cual es evidenciado por la reducción del porcentaje de hinchamiento.

Al analizar los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión estática se puede comprobar un valor de módulo de rotura similar en ambos materiales. No obstante en el módulo de elasticidad puede notarse una marcada diferencia entre ambos valores. Los resultados demuestran una mayor deformación en aglomerados naturales. Esta diferencia puede estar asociada a las propiedades del aglomerante, así como a la dificultad de conseguir una distribución uniforme de la resina vegetal en el aglomerado.

Las propiedades físico mecánicas de los tableros fueron determinadas con un error de aproximación inferior al 15%, lo cual permite validar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

La resina natural de higuera resulto ser un material aglutinante con un comportamiento satisfactorio para la elaboración de los tableros ya que brinda características físicas y mecánicas aceptables al ser comparadas con las propiedades de aglomerados comerciales existentes en el mercado.

RECOMENDACIONES

Durante el proceso de preparación de la fibra se deben limpiar las latillas adecuadamente con suficiente agua asegurándose de remover la totalidad del hidróxido de sodio (NAOH) o la solución alcalina que se esté utilizando para el tratamiento de las fibras.

En el proceso de trituración y corte de las fibras asegurarse de que estén totalmente secas para su adecuado manejo y mejores resultados.

Al momento de mezclar las fibras con la resina verificar que no queden espacios vacíos y que el resultado sea una mezcla homogénea a la misma altura dentro del molde.

Para el prensado, colocar en las paredes del molde un material o elemento desmoldante para facilitar la extracción del aglomerado sin afectar su composición o forma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldia de Guaduas. (2016). Nuestro Municipio Guaduas. Recuperado de <http://www.guaduas-cundinamarca.gov.co/index.shtml>
- Beraldo A. L. & Rivero L. A (2003). Bambu Laminado Colado (Blc) Abstract Glued Laminated Bamboo (Glb), 36–46.
- Bledzki A.K & Gazzan J. (1999) “Composites reinforced with cellulose based fibres” *Universität (Gh) Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mönchebergstraße 3, 34109 Kassel, Germany.*
- Estrada Mejia, M. (2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambu (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. (Tesis maestría) Universidad De Los Andes. Bogota D.C.
- Fiorelli J., Lahar F.A.R., Do Nascimento M.F., Savastano, Rossignolo J. A. (2011). Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona –produção e propriedades. *Acta Scientiarum. Technology*, 33(4), 401-406.
- Ghavami K. & Marinho B., (2002). Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro e do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 9(1),107-114.
- Kaur V., Chattopadhyay D., and S. Kaur, (2013) "Study on Extraction of Bamboo Fibres from Raw Bamboo Fibres Bundles Using Different Retting Techniques," *Textiles and Light Industrial Science and Technology*, vol. 2.
- Marinho N.P., Nascimento E.M., Nisgoski S., Magalhaes W.L.E., Neto S.C., Azevedo E.C. (2013). Physical and Thermal Characterization of Polyurethane Based on Castor Oil Composite with Bamboo Particles. *Polímeros*, 23(2), 201- 205.
- Monterroso B. (2013). Evaluación de las Propiedades Físico-Mecánicas de los tableros Aglomerados Elaborados con Cascarilla de Café (*Coffea arábica*) y Colofonia, por el Efecto de la Carga de Compactación y Tiempo de Prensado. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Oliveira, A. K. F., D’Almeida, J. R. M. (2014). Ecopiso de Fibra de Tururi y Resina de

Mamona: Ensaio de Resistência à Abrasão e Análise da Morfologia Utilizando MEV. *Blucher Design Proceedings*. 1(4), 1-12.

Ortiz Rivera A. (2009) Tratamiento por acidificación controlada del licor negro derivado del bagazo de caña para la recuperación de lignina y reducción de la demanda química de oxígeno (DQO). (Tesis de Maestría) Universidad Tecnológica De Pereira.

Pereira E. (2014). Caracterização Mecânica de Argamassas Poliméricas de Óleo de Mamona Reforçadas com Fibra Natural de Piaçava (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.

Smits M. , Botaro V., Ghavami K., Moreira L. (2003) “Materiais compósitos de poliestireno reforçados com fibra de bambu com distribuição aleatória”. *I Interamerican Conference on Non Conventional Materials and Technologies in the Eco-Construction and Infrastructure*, Brasil.