

**CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DEL PSEUDO TALLO DE PLÁTANO
COMO REFUERZO Y DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO PARA
FABRICACIÓN DE TEJAS**

Cristy Giselle Pedraza Abril



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL

FACULTAD DUITAMA

DUITAMA

2019

**CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DEL PSEUDO TALLO DE PLÁTANO
COMO REFUERZO Y DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO PARA
FABRICACIÓN DE TEJAS**

Cristy Giselle Pedraza Abril

**Trabajo de grado modalidad proyecto de investigación, para optar al título de
Diseñador Industrial**

Director

Mg. Jorge Arturo Torres Pemberti



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL

FACULTAD DUITAMA

DUITAMA

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del director 1

Firma del director 2

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

Duitama, junio 2019

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres

A mis hermanos

A ti Andrés Cely

Con toda mi gratitud

AGRADECIMIENTOS

La autora expresa su agradecimiento a:

Mg. Jorge Arturo Torres Pemberti director del proyecto de investigación por el apoyo asesoramiento y esfuerzo brindado.

Edwin Yesid Gómez Pachón y al grupo de investigación DITMAV por su ayuda en el proceso de investigación

Dr. Alex López Córdoba por la asesoría brindada durante el desarrollo del proyecto.

Ingeniero civil Osmar Albert Gamba Gómez del Laboratorio de suelos, materiales y estructuras de la UPTC por su colaboración en el desarrollo de las pruebas.

Angélica Ruiz por el acompañamiento durante el proceso.

Miriamcita por su ayuda y paciencia

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO	17
1.1 Problema	17
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivos específicos	19
1.4 Resultados esperados	20
1.5 Antecedentes	20
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	24
2.1 Materiales	24
2.2 Fibras	29
2.3 Plátano	38
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA	46
3.1 Planteamiento metodológico	46
3.2 Caracterización mecánica	46
3.2.1 Ensayo de flexión	46
3.2.2 Ensayo de compresión	48

3.3 Equipos y materiales	48
3.4 Metodología de procedimiento	49
3.5 Descriptores de la banana	51
3.6 Tejidos	52
3.7 Software Ces EduPack	53
3.7.1 CES EduPack y un enfoque dirigido por la ciencia.	54
3.7.2 CES EduPack y un enfoque dirigido por el diseño.	55
3.7.3 Acreditación	55
3.8 Moldeo por contacto: laminación manual	56
CAPITULO 4. RESULTADOS	57
4.1 Obtención de la materia prima	57
4.2 Métodos realizados para la producción de fibra	60
4.2.1 Primer método	60
4.2.2 Segundo método	62
4.2.3 Tercer método	66
4.2.4 Cuarto método.	68
4.2.5 Quinto método	72
4.3 Entrelazado de fibra para generación de tejidos	72
4.4 Elaboración de probetas	79
4.5 Pruebas mecánicas	83
4.6 Pruebas de compresion	90
4.7 Pruebas en microscopio	95
4.8 Aplicación software Ces EduPack	96

4.9 Elaboración de la teja	100
4.10 Prueba mecánica	105
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES	106
PARTICIPACIONES EN EVENTOS DE INVESTIGACIÓN.	107
REFERENCIAS	108

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición química	40
Tabla 2. Encuesta nacional agropecuaria	41
Tabla 3. Producción agrícola permanente por municipios	42
Tabla 4. Total de producción en toneladas y hectáreas de productos agrícolas permanentes	43
Tabla 5. Equipos y materiales	48
Tabla 6. Obtención de fibras de pseudotallo de plátano	49
Tabla 7. Material compuesto	50
Tabla 8. Caracterización mecánica del material	50
Tabla 9. Elaboración de tejas	51
Tabla 10. Temperatura por municipios	57
Tabla 11. Dimensiones para muestras	65
Tabla 12. Peso total de fibra obtenido de un pseudo tallo.	71

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Red conceptual materiales compuestos	26
Figura 2. Geometría de la fase dispersa. a) concentración, b) tamaño, c) forma, d) distribución, e) orientación	28
Figura 4. Elaboración tejas de arcilla	44
Figura 5. Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada	47
Figura 6. Identificación de las plantas de plátano en medio de cultivos mixtos.	58
Figura 7. Pseudo tallos después de ser cortados.	58
Figura 8. Separación de 3 pseudo tallos, con sus respectivas vainas foliares y troncos.	59
Figura 9. Corte transversal, evidenciando la oxidación que presenta el pseudotallo al momento en que se corta y entra en contacto con el aire.	59
Figura 10. Primer método de secado de las calcetas.	60
Figura 11. (a) Ajuste manual de los rodillos, (b) calceta pasada por la dobladora, (c) calceta compactada.	61
Figura 12. Separación manual de las calcetas	62
Figura 13. Separación de las capas de las vainas foliares.	62
Figura 14. (a)pared interna, pared externa (b)membrana.	63
Figura 15. Obtención de fibras por el segundo método.	63
Figura 16. Fibras del tronco del pseudotallo de plátano	64
Figura 17. Fibra obtenida por el segundo método	64
Figura 18. (a) base de madera, molde en MDF, borde en plastilina (b) moldes para los 3 tipos de probetas según norma ASTM 3039	65
Figura 19. Probetas con refuerzo unidireccional y refuerzo discontinuo.	66
Figura 20. Triturado de calcetas, atrapamiento de fibras.	67
Figura 21. Lavado y secado de las fibras.	67
Figura 22. Presencia de hongo en las fibras.	69
Figura 23. Secado de fibras en espacio cerrado.	69
Figura 24. Fibra final.	70

Figura 25.(a) alistamiento de la pared externa, (b) secado, (c)corte de cintas	72
Figura 26. Primer tejido realizado	73
Figura 27. Ampliación de la trama.	74
Figura 28. Elaboración de trenzas.	75
Figura 29. Tarabas.	76
Figura 30. Formación de cabuya	76
Figura 31. Tejido biaxial con cabuyas.	77
Figura 32. Producción de lazos.	78
Figura 33. Elaboración de tejidos para elaboración del material compuesto.	79
Figura 34. Pesas de metal sobre tejido de cintas.	79
Figura 35. (a)Resina poliéster, (b) Monómero de estireno, (c)Octoato de cobalto, (d) MEK	80
Figura 36. Preparación de las probetas	81
Figura 37. Probetas en proceso de curado.	82
Figura 38. Probetas norma ASTM 3039	82
Figura 39. Prensa de compresión confinada	85
Figura 40. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P1B	85
Figura 41. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P1C	86
Figura 42. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P2B	86
Figura 43. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P2C	87
Figura 44. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P3B	87
Figura 45. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P3C	88
Figura 46. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P4B	88
Figura 47. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P4C	89
Figura 48. Ensayo de flexión aplicado a probeta P5B	84
Figura 49. Pruebas de compresión	90
Figura 50. Ensayo de compresión probeta P2A1	91
Figura 51. Ensayo de compresión probeta P2A2	91
Figura 52. Ensayo de compresión probeta P3A2	¡Error! Marcador no definido.
Figura 53. Ensayo de compresión probeta P3A3	92

Figura 54. Ensayo de compresión probeta P4A1	92
Figura 55. Ensayo de compresión probeta P4A3	93
Figura 56 Ensayo de compresión probeta P5A2	93
Figura 57. Ensayo de compresión probeta P5A3	94
Figura 58. Material compuesto visto desde microscopio optico	94
Figura 59. Tenacidad de fractura	¡Error! Marcador no definido.
Figura 60. Tenacidad de fractura	¡Error! Marcador no definido.
Figura 61. Agua dulce	96
Figura 62. Tenacidad de fractura	97
Figura 63. Atmosfera rural	98
Figura 64. Dimenciones modelo de madera	98
Figura 65. Enserado molde de madera	99
Figura 66. Tejido cruzado y tejido simple	99
Figura 67. Preparacion de la recina.	101
Figura 68. Elaboracion de la teja	101
Figura 69. Teja elaborada con cintas	102
Figura 70. Prueba mecanica a la teja	102
Figura 71. Resultados maquina universal de ensayos.	103

RESUMEN

El cultivo del plátano, es considerado el cuarto cultivo más importante a nivel mundial. De la planta del plátano solo el 12% se considera comerciable, que es el fruto. El 88% restante se considera residuo, pero los productores no tienen un manejo adecuado de los mismos y simplemente los dejan en la zona de cultivo generando problemas fitosanitarios. Por esto se propone aprovechar la fibra del pseudo tallo de la planta como material de refuerzo en la producción de un material compuesto con una matriz polimérica para la elaboración de tejas, generando una alternativa a las elaboradas actualmente con arcilla, utilizadas en las construcciones rurales, manejando sistemas productivos ineficientes y altamente contaminantes debido al atraso tecnológico, lo que evita que se cumplan los requerimientos de la normatividad ambiental colombiana. Para el desarrollo del presente trabajo se empezó por hacer una identificación del pseudo tallo de plátano, determinando que está compuesto por vainas foliares superpuestas alrededor de un falso tallo. A continuación, se realizaron cinco métodos de experimentación y extracción de la fibra hasta obtener la mejor calidad de las mismas. Por esto se seleccionó el método de sustracción número cinco, explicado en el Capítulo 4 Resultados. Seguido a esto se procedió a elaborar el material compuesto de matriz polimérica (resina poliéster) y refuerzo con fibras naturales (fibra pseudo tallo de plátano), que fueron tejidas de forma biaxial (0° - 90°) y doble sentido ($+45^{\circ}$ - -45°), al que se le aplicaron ensayos mecánicos de flexión y compresión. Con los resultados de las pruebas se procedió a hacer el prototipo de una teja, con tejido de fibras que le brinda estructura, y cubierto por un tejido cruzado de cintas que le proporciona elasticidad. Obteniendo así una teja de 468,4gr de peso en comparación con una teja de arcilla de peso de 2.300gr de dimensiones similares.

Palabras clave: Material compuesto, Fibra de pseudo tallo de plátano, Matriz polimérica, Tejas artesanales.

ABSTRACT

Banana cultivation is considered the fourth most important crop worldwide. Of the banana plant only 12% is considered tradable, which is the fruit. The remaining 88% is considered waste, but the producers do not have an adequate management of them and they simply leave them in the cultivation area generating phytosanitary problems. Therefore, it is proposed to take advantage of the pseudo stalk fiber of the plant as a reinforcement material in the production of a composite material with a polymeric matrix for the production of roof tiles, generating an alternative to those currently made with clay, used in rural constructions, managing inefficient and highly polluting productive systems due to technological backwardness, which means that the requirements of Colombian environmental regulations are not met. For the development of this work we started by making an identification of the banana stem pseudo, determining that it is composed of foliar pods superimposed around a false stem. Then, five methods of experimentation and extraction of the fiber were carried out until obtaining the best quality of the same. For this, subtraction method number five was selected, explained in Chapter 4 Results. Following this we proceeded to elaborate the composite material of polymeric matrix (polyester resin) and reinforcement with natural fibers (pseudo stalk fiber of banana), which were biaxially woven (0° - 90°) and double-direction ($+45^\circ$ - 45°), to which mechanical bending and compression tests were applied. With the results of the tests, we proceeded to make the prototype of a tile, with fiber fabric that provides structure, and covered by a cross weave of ribbons that provides elasticity. Obtaining a roof tile of 468.4 g of weight in comparison with a clay roof tile of weight of 2,300 g of similar dimensions.

Key words: Composite material, banana pseudostem fiber, polymer matrix, handmade tiles

INTRODUCCIÓN

Es de resaltar que uno de los temas de mayor importancia en Colombia es la contaminación ambiental. El deterioro de la calidad de aire y la contaminación generada por industrias y diferentes sectores económicos del país, lo que ha generado la preocupación del gobierno encargándose de establecer normas y leyes para mitigar esta problemática. Como referente local, el corredor industrial del Valle de Sogamoso conformado por los municipios de Tibasosa, Firavitoba, Nobsa y Sogamoso ha sido conocido como una región de alta contaminación en el aire, debido al desarrollo de grandes, medianas y pequeñas empresas de carácter industrial y artesanal.

Ahora bien, en el desarrollo de la actividad alfarera de la provincia de Sugamuxi se han registrado 403 hornos para la producción de ladrillo y teja, en donde el empleo de sistemas productivos ineficientes y altamente contaminantes debido al atraso tecnológico, hace que no se cumplan los requerimientos de la normatividad ambiental colombiana. Estas tecnologías obsoletas limitan también las oportunidades en el mercado por aspectos de calidad y variedad de productos, que podrían llegar a nuevos nichos con un mejor precio de venta y mayor valor agregado. El valle de Sogamoso ha sido clasificado como el cuarto corredor industrial nacional de mayor polución atmosférica, basando su efecto en la suma de las emisiones de dos sectores específicos: el sector artesanal productor de ladrillo, tejas y cal, que aportaba el 56% del total de emisiones de la zona y la gran industria, generadora del 44% restante (Corpoboyacá, 2016; 29)

El departamento de Boyacá cuenta con diversidad de pisos térmicos, con diferentes ecosistemas fundamentales para la sostenibilidad ambiental, lo que permite el desarrollo de gran variedad de cultivos y diferentes actividades económicas dentro de los cuales está el del plátano, en donde se propone aprovechar la fibra del pseudo tallo de la planta como material de refuerzo en la producción de un material compuesto con una matriz polimérica para la elaboración de tejas que permita reemplazar las artesanales utilizadas en las construcciones rurales y que actualmente se producen mediante la utilización de hornos. Esta actividad generaría un impacto ambiental positivo ya que se disminuirían las emisiones de CO₂ debido al uso de materiales de origen natural, renovables, biodegradables y económicos que en la actualidad generan problemas fitosanitarios en los cultivos debido a su mal manejo.

Se resalta que las fibras vegetales tienen un futuro promisorio en comparación con la fibra sintética, hay algunos problemas críticos que necesitan ser resueltos antes de que la industria de manufactura haga uso de estas, lo que permita una aceptación a amplia escala industrial, en un mercado global. La forma, tamaño y resistencia de las fibras naturales de origen vegetal, pueden variar ampliamente dependiendo del ambiente de cultivo, origen geográfico, madurez de la planta, técnica de extracción de las fibras y proceso de manufactura.

El trabajo que se presenta pretende aportar respuestas a los diferentes problemas de contaminación y déficit de vivienda, sustituyendo las tejas artesanales que son elaboradas en arcilla manualmente ya que se hace dispendiosa su elaboración debido al tiempo y a los procesos que se emplean para su producción, además de su alto peso, su volumen, su fragilidad, su permeabilidad entre otros, y por otra parte se utilizarían adecuadamente materiales residuales producidos en grandes masas generados en el sector agrícola, que dado su volumen permitirían ser utilizados de manera provechosa y ahorrando así el costo de otros materiales utilizados como refuerzo como lo es la fibra de vidrio que es altamente contaminante.

El trabajo así planteado tiene una doble vertiente, una ecológica por la gestión de materiales residuales para la producción de tejas artesanales y otra económica por la producción de un producto que supone un bajo costo debido a la utilización de materiales que están catalogados como desechos. Por esto se plantea la propuesta de darle un uso alternativo a los desechos de los cultivos de plátano para la elaboración de un material compuesto y a su vez una aplicación en la industria de la construcción, generando así un mayor aprovechamiento de los recursos, protección del medio ambiente y obtención de nuevos productos.

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO

1.1 Problema

El sector alfarero del municipio de Sogamoso cuenta con 154 hornos de cocción de productos de arcilla (ladrillo y teja). Esta región es una zona de concentración de emisiones contaminante lo que genera una mala calidad de aire y por lo tanto es causante de enfermedades para las personas, siendo así la enfermedad pulmonar obstructiva crónica la segunda causa de muerte de las personas del sector. Esta industria artesanal (chircales productores de ladrillo y tejas de arcilla), genera el 56,39% de las emisiones contaminantes en el Valle de Sogamoso, sobrepasando las emisiones producidas por la industria pesada (43%) y las Pymes (1%) (Corpoboyacá, 2016; 34)

Por otra parte, el cultivo del plátano es considerado el cuarto cultivo más importante a nivel mundial, ya que es un producto básico y de exportación, por lo tanto, es una gran fuente de empleo e ingresos de varios países. Las variedades de plátano cultivadas en Colombia son: dominico-hartón, dominico, hartón, pelipita, morado, cachaco, popocho, pompo, maqueño, guineo y trucho (DANE, 2014)

Es de anotar que la Cadena Agroalimentaria del plátano en Colombia está conformada por los productores, comercializadores, industrias de procesamiento, productores de semilla, proveedores de insumos, exportadores, universidades, centros de investigación e instituciones regionales y Nacionales que acompañan el proceso como el ICA, Sena, Unad, Ciat, Asohofrucol, secretarías de agricultura y corporaciones autónomas regionales, entre otras. El Acuerdo Nacional de Competitividad de la Cadena firmado en el año 2010, y actualizado 2011-2020 definió su misión y visión basada en indicadores de productividad. En el año 2015 la cadena productiva de plátano en Colombia comenzará transformaciones sustantivas en materia de productividad y competitividad, llevando su rendimiento de 7.3 a 10.0 toneladas por hectárea, los costos de producción reducidos en un 5%, el área de producción alcanzará la 600.000 hectáreas con una producción de 6.024.000 toneladas y con un incremento del 4% al 10% de la producción destinadas al comercio internacional, con procesos de investigación y mejoramiento genético como soporte fundamental de estos propósitos. En el año 2025 la cadena productiva de plátano en Colombia habrá alcanzado el más alto grado de productividad y competitividad, alcanzando un rendimiento

de 12 toneladas hectárea, reducido los costos de producción en un 10%, estabilizado el área sembrada en 750.000 hectáreas y destinado el 12% de su producción a los mercados internacionales y mejorado considerablemente las condiciones de vida y de trabajo de los productores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; 2019)

Por esto se quiere aprovechar los residuos generados por los cultivos de plátano, ya que la mayoría se encuentra en fincas no tecnificadas y crecen con otros cultivos, lo que afecta la productividad de la cosecha y limitando la capacidad económica de los productores ya que dependen solo de la comercialización del fruto. En cuanto a los desechos generados por la planta como las hojas, los tallos, el pseudotallo y las raíces se dejan en la zona del cultivo para que actúen como fertilizante orgánico y algunas veces es usado como alimento para los animales.

Formulación del problema. De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se plantea la pregunta de investigación ¿Cómo preparar un material compuesto con una matriz polimérica sintética reforzado con fibras extraídas del pseudo tallo de plátano para elaborar tejas artesanales?

1.2 Justificación

Son muchos los problemas que existen para mantener ciudades de manera que se sigan creando empleos y prosperidad sin ejercer presión sobre la tierra y los recursos. Los problemas comunes de las ciudades son la congestión, la falta de fondos para prestar servicios básicos, la escasez de vivienda adecuada y el deterioro de la infraestructura. Los problemas que enfrentan las ciudades se pueden vencer de manera que les permita seguir prosperando, creciendo y al mismo tiempo aprovechar mejor los recursos, reduciendo la contaminación y la pobreza. Una de las metas a nivel mundial es dignificar la vivienda, aumentar la urbanización inclusiva, sostenible, la capacidad para la planificación, la gestión participativa, integrada y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países, reduciendo el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo. (Naciones Unidas CEPAL, S.F.)

De la planta de los cultivos de plátano, solo el 12% se considera comercializable, que es el fruto. El otro porcentaje se convierte en un residuo agrícola. Esos cultivos generan casi 4 millones de toneladas métricas de residuos al año, además, se demoran muchos meses en degradarse, y al enterrarlos generan una presión muy alta al suelo, malos olores y líquidos tóxicos que afectan considerablemente al medio ambiente y hasta el momento, no existe una alternativa para el manejo eficiente de estos residuos agroindustriales, si se logra remover parte del cuerpo vegetal y sacar las fibras, los procesos de degradación serían mucho más rápidos (Ministerio de Educación Nacional, 2010).

Mediante el presente proyecto se plantea una alternativa para desarrollar un material compuesto, realizando inicialmente una identificación de las propiedades físico-químicas de la matriz polimérica más adecuada a ser usada, el estudio y caracterización de las fibras contenidas en el pseudo tallo de plátano teniendo en cuenta las principales ventajas de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales.

Existen diferentes alternativas para el aprovechamiento de los recursos de una explotación agrícola, a saber: la reparación/renovación, el reciclaje/reprocesamiento, canibalización y la reutilización directa. De acuerdo con las definiciones de cada una, el aprovechamiento de los residuos del plátano/banano, constituye en el reciclaje del material para ser utilizados como materia prima en posteriores productos. Después de la cosecha las actividades que agregan valor son el desmontaje, la clasificación y el procesamiento de materias primas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la viabilidad del uso de fibra de pseudo tallo del plátano como material de refuerzo para un material compuesto y su aplicación en la elaboración de tejas para uso en viviendas en áreas rurales.

1.3.2 Objetivos específicos

Establecer el proceso de extracción de la fibra del pseudo tallo de plátano para la elaboración del material compuesto

Determinar las propiedades mecánicas del nuevo material.

Implementar el nuevo material en la fabricación de tejas.

1.4 Resultados esperados

Caracterizar las fibras para conocer su comportamiento físico y posterior uso en el desarrollo del material compuesto.

Lograr mejorar las propiedades mecánicas de las fibras de pseudo tallo de plátano.

Establecer la proporción de resina- fibra para la fabricación del material compuesto y su posterior aplicación.

El prototipo de una teja elaborada con el material compuesto propuesto.

Definir factores tales como: peso, resistencia mecánica, dimensiones de la propuesta elaborada.

1.5 Antecedentes

Respecto al creciente interés por el tema de desarrollo de materiales compuestos biodegradables, se hallaron investigaciones dirigidas al desarrollo de material de material de refuerzo a partir de fibras naturales. Por su parte la investigación “diseño de tejas prefabricadas de bajo coste que incorporan residuos industriales de carácter puzolánico para uso en países en vías de desarrollo. Aplicación al caso de Cali (Colombia)” (Méndez, 2009)

Se estudiaron las propiedades mecánicas de los prototipos de tejas de micro hormigón, al incorporar puzolanas que sustituyen parte del cemento. Las puzolanas usadas son el catalizador de craqueo catalítico usado (FCC), la ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y la ceniza volante de central térmica (CV), todos ellos materiales residuales y por tanto con un coste reducido. En una primera fase, realizada en los laboratorios del Departamento de Ingeniería de Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Valencia, se prepararon:

- Mezclas ternarias de cemento Portland con un reemplazo combinado de FCC (procedente de la refinería que la compañía British Petroleum BP España tiene sita en El Grao de Castellón) y CV de hasta el 30% (en peso).

- Mezclas ternarias de cemento Portland con un reemplazo combinado de CCA (procedente de la empresa DACSA de Valencia) y CV de hasta el 30% (en peso).

En ambos casos se evaluaron las diferentes propiedades de las tejas y del mortero utilizado, aplicando la normativa europea, y se compararon con las mezclas sin adiciones. Considerando la importancia de la trabajabilidad en el conformado de tejas con perfil ondulado, en este estudio se muestra la interacción entre estos tres tipos de puzolana (CCA-CV y FCC-CV) y el cemento, así como su influencia en la fluidez de los micro hormigones. Se pone de manifiesto, que la incorporación de CV aumenta la fluidez y por consiguiente facilita la compactación del micro hormigón en la fabricación de las tejas, eliminando el agrietamiento durante el conformado, y generando un incremento de las resistencias mecánicas en algunas de las mezclas estudiadas. En términos generales se obtuvieron tejas que cumplen las exigencias de la normativa europea, en lo que a resistencias mecánicas se refiere.

La segunda fase se realizó en los laboratorios del Grupo de Investigación en Materiales Compuestos de la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia. Se construyó una máquina basada en la tecnología de tejas TEVI adaptada al tipo de teja usada en Colombia y se fabricaron tejas con cemento Portland tipo I, adicionadas con CCA hasta un 30% (en peso). Se evaluaron las diferentes propiedades de las tejas adaptando la normativa europea a los recursos existentes. De esto se concluyó que las probetas en las que se sustituyó hasta un 30% de cemento por puzolanas (CV, CCA, FCC o mezcla de ellas), cuando se curaron a temperatura ambiente durante 90 días, presentaron resistencias a flexo tracción y compresión superior a los morteros patrón correspondientes. La resistencia al impacto fue superior al valor de 1, exigido por la normativa, para todos los porcentajes de sustitución y todas las puzolanas estudiadas.

El ensayo de impermeabilidad fue positivo para todos los porcentajes y tipos de puzolana estudiados; si bien inicialmente se presentan algunos problemas en las tejas que contenían catalizador, debido a la baja trabajabilidad de los morteros, que facilitaban la permeabilidad, este hecho se solucionó con la adición de pequeñas cantidades de superplastificante.

Se toma en consideración la investigación “compuestos de poliéster reforzados con fibra de plátano/banano (musa paradisiaca) modificada químicamente. Comparación con fibra de

vidrio y fique (*furcraea andina*)” (Rodríguez, Sarache y Orrego, 2014), donde se fabricaron piezas de materiales compuestos mediante la técnica de moldeo manual con fibras del pseudo tallo de plátano (FSP), fique y vidrio en una matriz de poliéster. Las FSP fueron tejidas y analizadas sin tratamiento y tratadas químicamente con anhídrido acético, Epiclorhidrina y su mezcla. El objetivo fue caracterizar y comparar los compuestos obtenidos mediante ensayos de tensión, impacto, capacidad de absorción de agua y micrografías. El valor promedio de la tensión a la ruptura de los materiales compuestos con FSP tratadas aumentó respecto a las FSP sin tratamiento y al fique. Además, presentaron el menor incremento de peso en las pruebas de absorción de agua. Este comportamiento se atribuyó a una mayor hidrofobicidad de las FSP tratadas. Esto a su vez produjo mejor adhesión con la matriz, como se corroboró en las micrografías que mostraron menor deslizamiento en las superficies de corte.

Se toma en cuenta el trabajo de grado “preparación y caracterización de fibras naturales” (Benezco, 2015), el objeto específico de ese proyecto es la preparación y caracterización de materiales compuestos a partir de resinas comerciales y fibras naturales, en concreto, de fibras obtenidas a partir de las plataneras de la isla de Tenerife. En cuanto a las limitaciones del proyecto, sólo se ha estudiado su efecto con las resinas comerciales de poliéster y epoxi. En los ensayos preliminares se prepararon probetas de fibra de plátano con distintas dimensiones, capas y orientaciones de las fibras para estudiar sus propiedades a flexión. Estos valores se comparan con probetas reforzadas con fibras de vidrio o de carbono preparadas con características similares de dimensiones, capas y orientaciones de las fibras para poder comparar si tienen un comportamiento parecido. Del estudio anterior, se vuelven a elaborar nuevas probetas de fibra de plátano, pero esta vez para ensayarlas según las normas UNE a flexión y a tracción, además de aplicar a las probetas ensayos de microscopía y ultrasonidos. Finalmente, quedan excluidos los demás materiales y resinas comerciales, al igual que otros tipos de ensayos y pruebas.

También se observa la investigación “Influencia de la dosis de trimetoxivinilsilano y dosis de fibra de pseudo tallo de plátano, sobre la resistencia a la tracción, de un compuesto de matrizpoliéster” (Rodríguez, 2017) en esta investigación, se determinó la influencia de la dosis de mercerización-silano a diferentes concentraciones de trimetoxivinilsilano (0.5; 1.0 y 2.0) % v/v, por un tiempo de 30 minutos, además de la influencia del porcentaje (10; 20 y

30) % en peso de fibras; sobre la resistencia a la tracción de un compuesto de matriz poliéster reforzadas con fibras de pseudotallo de plátano. Se fabricaron placas con fibras de pseudotallo de plátano, con dimensiones de 200 x 100 x 5 mm mediante el proceso de moldeo por compresión, en una máquina de compresión hidráulica, con una presión de moldeo de 2500 Psi.

Las probetas obtenidas de las láminas de material compuesto reforzados con fibra de pseudotallo de plátano, fueron elaboradas según la norma ASTM D 638-01. Los compuestos reforzados con fibra de pseudotallo de plátano modificada químicamente por tratamiento de mercerización silano obtienen los valores medios más altos de resistencia a la tracción, a un porcentaje de 30% en peso, siendo estos valores: 84.35, 81.70 y 75.45 MPa; para valores 2.0; 1.0 y 0.5 % v/v del agente de acople trimetoxivinilsilano respectivamente. De los resultados adicionales obtenidos se concluye que los tratamientos químicos superficiales, aumentaron el % de celulosa de las fibras de un 64.14% hasta un 78.6 %, disminuyeron el diámetro de las fibras (de 187.68 a 124.98 μm), disminuyeron el carácter hidrofílico de las fibras, todo ello mejoró la resistencia a la tracción del compuesto, ello sin dejar de lado el efecto del agente de acople. Todos los resultados del ensayo de tracción se evaluaron mediante análisis de varianza al 95% de confianza, de este análisis se concluye que ambas variables manejadas intencionalmente tienen un efecto significativo, sobre la resistencia a la tracción del compuesto desarrollado.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se tuvieron en cuenta conceptos relacionados con materiales, fibras naturales y características de las plantas del plátano desde las perspectivas de varios autores, teniendo como objetivo la contextualización de los temas que se trataron en el proyecto

2.1 Materiales

Clasificación de los materiales. De acuerdo con Newell, (2011) los materiales se clasifican según su uso en metales, cerámicos, polímeros y materiales compuestos. Los materiales en cada uno de estos grupos poseen estructuras y propiedades distintas, que dependen de los átomos presentes, el enlace entre los átomos y los arreglos tridimensionales de los átomos dentro del material.

Metales: son materiales inorgánicos que normalmente se representan como una combinación de varios elementos metálicos, sus propiedades se basan en el tipo de enlace y en la estructura cristalina de los metales que les confieren por un lado altos valores de rigidez y resistencia mecánica y por otro lado una alta deformidad y tenacidad a la fractura (Barroso e Ibañez, 2014 p. 19)

Cerámicos: la base de los materiales cerámicos suelen ser los elementos inorgánicos, con una estructura más o menos cristalina. Entre las ventajas que aportan se encuentran su estabilidad a alta temperatura, alta resistencia, bajo esfuerzos de compresión y excelente dureza, buena resistencia a la corrosión, bajo peso específico, y posibilidad de dar una amplia gama de conductividades térmicas y eléctricas. Como aspectos negativos se destacan su gran fragilidad y en algunos casos poca resistencia a cambios bruscos de temperatura. (Barroso e Ibañez, 2014 p. 22)

Polímeros: un polímero se define como una molécula muy larga en forma de cadena con una o más unidades de átomos que se repiten unidos entre sí por un fuerte enlace covalente. Los plásticos son menos rígidos y resistentes que los metales, y además sus temperaturas máximas de utilización no superan los 300°C. los polímeros comunes son buenos aislantes eléctricos y térmicos, aunque existen excepciones como los polímeros semiconductores. Aunque poseen una resistencia baja, los polímeros tienen una razón de resistencia a peso muy buena. Por lo regular no son adecuados para el uso a altas temperaturas. Muchos polímeros tienen buena resistencia a sustancias químicas corrosivas. Los polímeros termoplásticos, en

los que las cadenas moleculares grandes no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductilidad y formabilidad; los polímeros termoestables son más resistentes, pero más quebradizos debido a que las cadenas moleculares están enlazadas de manera compacta (30)

Materiales compuestos: Un material compuesto es básicamente un sistema de materiales formado por dos o más fases distintas, cuya combinación proporciona propiedades que son diferentes y mejores a las de sus constituyentes. De manera más específica, los componentes de un material compuesto se denominan: matriz y refuerzo, mientras que la superficie de conexión entre estos se denomina interfaz. Además, existe la posibilidad de que se adicionen agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, siendo su principal objetivo mejorar la superficie de la interfaz del composite, de tal forma que las propiedades del material se magnifiquen en lugar de verse afectadas. De manera general se considera a un material compuesto como un material multifásico, lo que refleja la importancia de cada una de las fases constituyentes. Es decir, la combinación de propiedades debe ser adecuada, para que el resultado obtenido sea un material con propiedades mejorada de manera significativa. Los materiales compuestos pueden ser diseñados para exhibir varias propiedades específicas requeridas. Estas se obtienen mediante la selección de sus componentes, sus proporciones, distribución, morfología, grado de cristalinidad, textura cristalográfica, así como por su estructura y composición de la interfaz. Como resultado, estos materiales constituyen actualmente la mayor parte de los materiales ingenieriles (Dávila, Galeas, Sotomayor y Pontón, 2011).

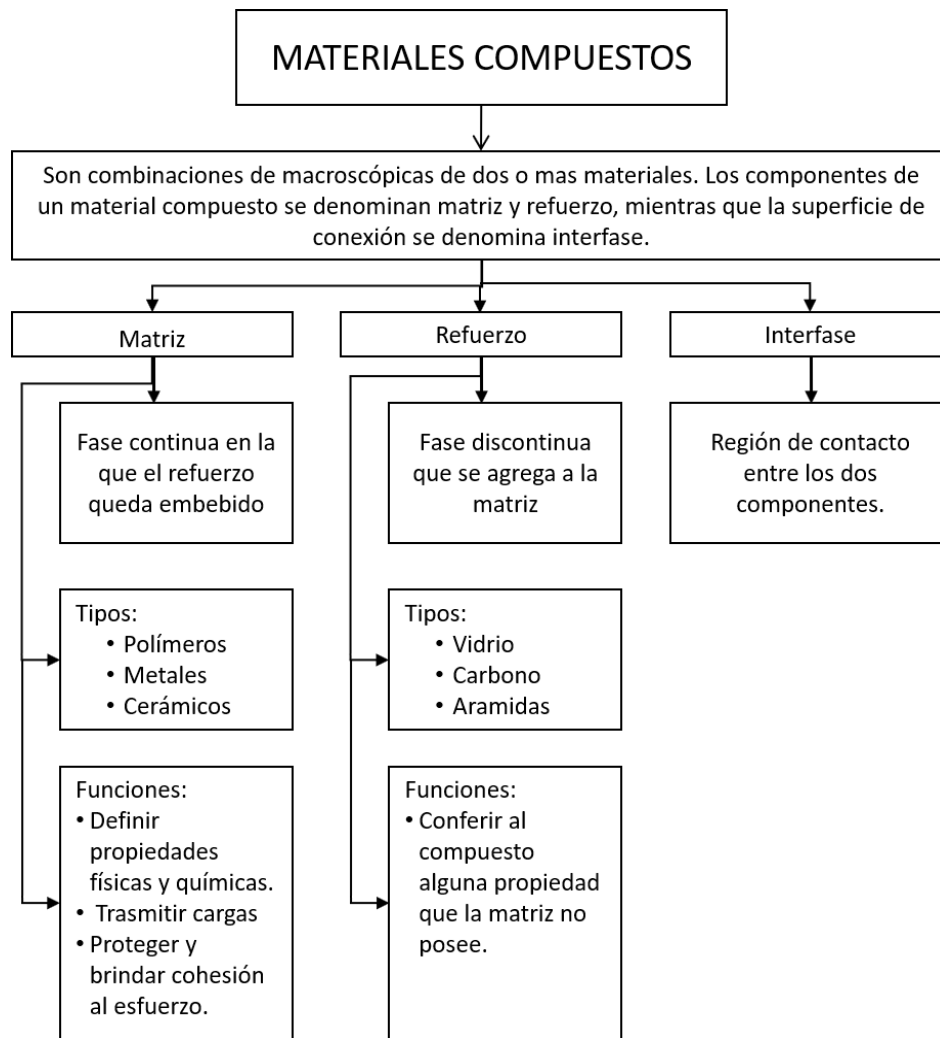


Figura 1. Red conceptual materiales compuestos

Fuente: Dávila, Galeas, Sotomayor y Pontón, (2011)

Matriz: En un material compuesto la matriz desempeña varias funciones. fundamentalmente es la fase continua, la cual engloba y sostiene los elementos de refuerzo, otorgando consistencia y continuidad al material. Entre las funciones básicas se tienen las siguientes: (Dávila, Galeas, Sotomayor y Pontón, 2011).

Aglutinar los refuerzos,

Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos,

Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica,

Proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente tales como la humedad

En caso de que el material esté reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de estas bajo cargas de compresión.

El material utilizado como matriz influye en las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto, por ejemplo: en el caso de las propiedades mecánicas, la resistencia a la tracción, la ductilidad, la resistencia al impacto, entre otras, dependerán del tipo de matriz y a su vez del tipo de refuerzo y la configuración utilizada. El modo de falla del compuesto está afectado en gran medida por el tipo de matriz y por su compatibilidad con el refuerzo. Por otro lado, en el caso de las propiedades eléctricas, la matriz puede dotar al material de una capacidad aislante o conductora. En lo referente a las propiedades químicas, estas son determinantes en la resistencia de un compuesto expuesto a la acción del medio ambiente.

Tipos de matriz: Existen tres tipos de matriz: metálica, cerámica y polimérica. De manera general, del tipo de matriz que se utilice, dependerá el control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del material compuesto.

Matrices poliméricas. Son usadas en una diversidad de aplicaciones y en grandes cantidades debido a su baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. Estas matrices pueden ser reforzadas con fibras naturales y sintéticas. Las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas.

Las matrices termoplásticas: pasan al estado líquido cuando son calentadas. Este ciclo reversible de ablandamiento y endurecimiento es el responsable de su aptitud para el reciclaje.

Las matrices termoestables: tienen múltiples enlaces entrecruzados en una estructura de red tridimensional. Son polimerizadas por una reacción química que generalmente no es

reversible. No son fáciles de reprocesar después que las reacciones de entrecruzamiento han tenido lugar, lo que hace difícil su reciclaje. Los termoestables no funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. Algunos ejemplos son: resina poliéster, epoxy y fenólicos.

Las matrices elastoméricas tienen una zona elástica grande y pueden estirarse hasta cinco o seis veces su longitud original. Sin embargo, sus módulos de elasticidad son bajos. Tienen menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables. El caucho natural pertenece a este tipo de matrices.

Refuerzo: Por otro lado, el principal papel del refuerzo es mejorar las características de la matriz. El refuerzo es el componente del material compuesto que soporta la carga y que también puede aportar con propiedades al material compuesto, por ejemplo, características de conductividad eléctrica o aislamiento, estabilidad térmica, propiedades estructurales, etc. Los refuerzos pueden ser partículas, fibras o elementos estructurales.

Clasificación de los materiales compuestos: los materiales compuestos se subdividen de acuerdo con la geometría del reforzante, en material compuesto con refuerzo continuo (fibras), discontinuo (partículas) y estructurales (laminas).

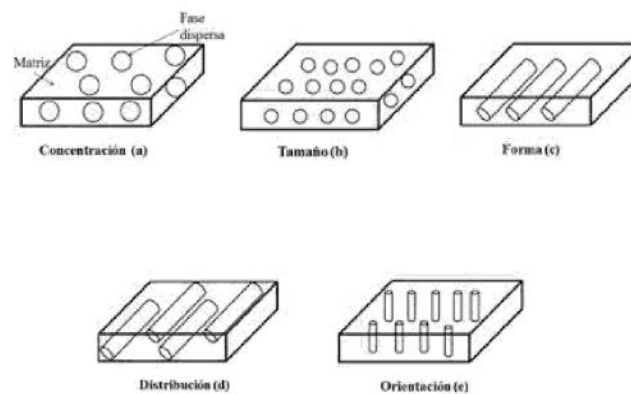


Figura 2. Geometría de la fase dispersa. a) concentración, b) tamaño, c) forma, d) distribución, e) orientación

Fuente: Martínez, Hernández, López y Menchaca, (2015).

Las partículas de la fase dispersa de los materiales compuestos reforzados con partículas son equiaxiales, es decir, las dimensiones de las partículas son aproximadamente iguales en

todas las direcciones. La fase dispersa reforzada con fibras tiene la geometría de una fibra, es decir, una relación longitud/diámetro muy alto. Los materiales compuestos estructurales son materiales compuestos combinados con materiales homogéneos. (Martínez, Hernández, López y Menchaca 2015).

2.2 Fibras

Fibra como material de refuerzo: Desde el punto de vista tecnológico, los materiales compuestos más importantes son aquellos en los que la fase dispersa está formada por fibras. La mayoría de estos materiales alcanza una mejor resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia-peso al incorporar fibras resistentes y rígidas, en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la carga a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. Con respecto a las fibras, estas son materiales policristalinos o amorfos, tienen diámetros pequeños y poseen gran longitud. Los materiales de las fibras son generalmente polímeros o cerámicos (como por ejemplo aramidas, vidrio, carbono, boro, óxido de aluminio y carburo de silicio) (Dávila, Galeas, Sotomayor y Pontón, 2011).

También se tiene la utilización de fibras naturales como abacá, cabuya y coco, incorporados como elementos de refuerzo en una matriz polimérica. Este tipo de materiales ofrecen muchas ventajas, entre las cuales cabe resaltar la reducción de costo de manufactura y su menor impacto ambiental. Los materiales fibrosos constituyen la mejor alternativa como refuerzo de matrices poliméricas, pues se ha demostrado que mientras más finos son los materiales, éstos tienden a presentar un menor número de defectos que puedan inducir a fallas. Sin embargo, la utilidad estructural de las fibras no es lo suficientemente aprovechada si éstas no se encuentran aglutinadas por una matriz. La configuración en la que éstas se dispongan dentro de la matriz también es un factor determinante para las características y propiedades finales que el material presentará. Dichas configuraciones pueden incluir fibra corta, larga, tejida y no tejida. Además, es posible obtener numerosas modificaciones por el entrelazamiento de las fibras, lo cual dará como resultado, materiales compuestos con diferentes características y propiedades mecánicas.

Propiedades de los compuestos reforzados con fibras: debido a que las fibras funcionan como el material de carga en el compuesto, se seleccionan preferiblemente fibras fuertes,

pero la relación entre la resistencia de la fibra y la resistencia del compuesto no es simple. La matriz debe ser capaz de transferir la carga mecánica a la fibra a través del enlace covalente entre la fibra y la matriz (Newell, 2012). Factores como el tamaño y la orientación de la fibra, la química de la superficie de la fibra, la cantidad de cavidades presentes y el grado de curado influyen en estos enlaces. Sin embargo, el grado y la calidad del enlace entre las fibras y la matriz es el factor más relevante en la resistencia del compuesto.

Diversos factores importantes influyen en el desempeño de las fibras, incluyendo la longitud y el diámetro, la fracción de la fibra y la orientación. Las fibras pueden tener cualquier longitud, desde unos cuantos milímetros de largo en el caso de las fibras picadas (en las que las grandes fibras son cortadas en piezas pequeñas y alineadas al azar) hasta varias millas de largo en el caso de los monofilamentos continuos. La mayoría de las fibras reforzantes varían desde los 7 μ m hasta los 150 μ m de diámetro. En general las fibras más delgadas son más fuertes debido a que su área de superficie reducida los hace menos susceptibles a las imperfecciones de la superficie y las fibras más grandes soportan la carga más eficientemente que las fibras más cortas debido a que hay menos terminales.

Fibras naturales: Actualmente, cada vez se utilizan más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medio ambiental. Además, si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto ambiental total en la fabricación de las piezas es mucho menor. Se está dedicando esfuerzo de investigación en la fabricación de materiales compuestos completamente ecológicos o verdes. En ellos se refuerza la matriz del polímero natural con fibras de origen vegetal.

Clasificación de las fibras vegetales: Las fibras vegetales son filamentos lignocelulósicos compuestos de células largas y delgadas de esclerénquima, que se encuentran formando parte de las plantas y que cumplen funciones específicas dentro de ellas, como las de dar soporte, dureza y rigidez a los tejidos vegetales. Según la parte de la planta en la que se localizan, las fibras poseen distintas características y propiedades, lo cual las clasifica básicamente en tres grupos: las fibras blandas, duras y de superficie (Deaquiz y Moreno, 2016).

Las fibras blandas provienen del líber de los tallos de las plantas dicotiledóneas. Estas se ubican en la parte liberiana del tallo y actúan como un esqueleto, brindándole resistencia

estructural y rigidez. Se denominan blandas por su textura suave al tacto, su flexibilidad, elasticidad y su finura. Ejemplos de ellas son el lino, el ramio, el yute y el cáñamo. Las fibras blandas generalmente son extraídas mediante un proceso de enriado, que consiste en colocar los tallos en remojo en el curso del agua de ríos con poca corriente con el objeto de que su corteza se descomponga por efecto de la degradación microbiana, dejando libres a los filamentos de fibra. Las fibras duras constituyen las hojas de ciertas plantas entre las que se encuentran la cabuya, el abacá, el plátano y el formio. Estas fibras son por lo general de mayor grosor, aspereza y rigidez, pues poseen un alto contenido de lignina. Estas son obtenidas a partir de un proceso de descortezación, que consiste en separar mecánicamente la corteza del tallo mediante el uso de maquinaria industrial. Por otra parte, las fibras de superficie corresponden a los pelos de la epidermis de las semillas, por ejemplo, el algodón.

Origen de las fibras vegetales: Deaquiz y Moreno, (2016) establecen que las fibras vegetales se encuentran como elementos estructurales en todas las plantas superiores, estas constan, principalmente, de fibrillas de celulosa encajadas en una matriz de lignina. Las fibrillas están alineadas a lo largo de la longitud de la fibra, esto brinda un máximo de resistencia a la tracción y a la flexión, además proporciona rigidez. La eficiencia de la fibra natural está relacionada con la naturaleza de la celulosa y su cristalinidad (John & Thomas, 2008).

La fibra se considera como una célula individual, que hace parte del tejido esclerenquimático y se caracteriza por una gruesa pared celular (VanDan & Gorshkova, 2003).

Constituida por diferentes proporciones de celulosa, hemicelulosa y lignina (Pacheco-Torgal & Jalali, 2011). Las plantas que producen fibras naturales se clasifican, por su origen anatómico, como primarias y secundarias en función de su utilización (Faruk et al., 2012). Las plantas primarias son las que se cultivan por su contenido de fibra, como el algodón, el yute, el cáñamo, el kenaf y el fique; mientras que, las plantas secundarias son las que producen fibras como un subproducto, como la piña, palma de aceite y el coco (Staiger & Tucker, 2008).

Las fibras se dividen, de acuerdo con su posición dentro o fuera del xilema, en xilares o extraxilares; y, por su estructura, se clasifican en libriformes, traqueidas o fibrotraqueidas, mucilaginosas y septadas (VanDan & Gorshkova, 2003).

Las fibras xilares constituyen una parte integral del xilema y del desarrollo de los tejidos meristemáticos. Las fibras extraxilares se pueden encontrar dentro de la corteza (fibras corticales), el floema (fibras del floema), o en la periferia de los haces vasculares (fibras perivasculares) (Foster & Gifford, 1959).

Por otra parte, las fibras de la hoja, también conocidas como fibras duras, son los aglomerados de células vasculares y se extraen del sistema fibrovascular, un ejemplo de esto es el fique o agave (*Agave sisalana*), la abacá (*Musa textilis*), la yuca (*Yucca* spp.), el henequén (*Agave fourcroydes*) y algunas palmas (VanDan & Gorshkova, 2003). Las fibras del esclerénquima pueden estar por separado como idioblastos, pero habitualmente se producen en grupos. Estos haces fibrosos están incluidos en los cultivos de interés comercial, como el lino (*Linum usitatissimum*), el cáñamo (*Cannabis sativa*), el yute (*Corchorus* spp.), el ramio (*Boehmeria nivea*) y el kenaf (*Hibiscus cannabinus*) (Sperry, 1982). Por lo anterior, se pueden encontrar seis tipos básicos de fibras naturales, las fibras de hilaza (yute, lino, cáñamo, ramio y kenaf), las fibras de hojas (abacá, fique y piña), las fibras de semillas (coco, algodón y kapok), las fibras medias (kenaf, cáñamo y yute), las fibras de láminas (trigo, maíz y arroz) y los demás tipos (madera y raíces) (Faruk et al., 2012).

Formación bioquímica de la celulosa: estructura. La celulosa es un biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de β -glucosa (Holtzapfle, 2003), constituyendo cadenas de glucano que se disponen en forma paralela entre sí, formando microfibrillas que, en la mayoría de las plantas, son de 3 nm de espesor, pero que alcanzan un ancho de 20 nm en ciertas algas (Jarvis, 2003), donde se requiere de una célula para su síntesis, tanto en plantas, como bacterias (Lane et al., 2001; Romling, 2002).

Este polisacárido es la biomolécula terrestre más abundante, producida por plantas, organismos marinos y microorganismos (Heinze & Liebert, 2012). Es la fuente de carbono renovable de mayor presencia en la naturaleza, de amplio interés económico, ya que es indispensable como materia prima de papel y de la industria textil (Mendez-Ortiz & Membrillo-Hernández, 2004). La celulosa puede provenir de diferentes fuentes, lo cual le

dará propiedades físicas específicas como estado cristalino, grado de cristalinidad y peso molecular. El estado cristalino de la celulosa se determina por la disposición de las cadenas de glucano en la célula (Saxena & Brown, 2005) y la fuerte unión del hidrógeno entre los grupos hidroxilo de celulosa, que hacen que sea altamente cristalina y que sea un polímero insoluble (Mao et al., 2011). En la naturaleza, la mayoría de celulosa se produce como celulosa cristalina y se define como celulosa I (Jarvis, 2003).

Hemicelulosa: La hemicelulosa es un polímero compuesto de diversos polisacáridos que forman una cadena lineal ramificada (Pacheco-Torgal & Jalali, 2011), que se caracteriza por no ser ni celulosa, ni pectina, y está compuesta de β -(1,4) glucosa, manosa, o xilosa (Scheller & Ulvskov, 2010), abundante en la naturaleza, la cual representa alrededor del 25-35 % de la biomasa de la lignocelulosa (Kumar et al., 2008; Saha, 2000).

Además, representa un tipo de hetero-polisacárido con estructuras complejas que contienen glucosa, xilosa, manosa, galactosa, arabinosa, fucosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico (Ren & Sun, 2010), dispuestos en diferentes proporciones que dependen de la especie vegetal. La hemicelulosa difiere de la celulosa en varios aspectos, uno de ellos es que contienen unidades diferentes de azúcares, mientras que la celulosa contiene solo unidades de 1,4- β -D-glucopiranosas que es un componente estructural intrínseco de la pared celular, que forma una red con otros polímeros de carbohidratos (Brett, 2000). Por otra parte, la hemicelulosa presenta cadenas de ramificación que contienen grupos laterales colgantes que dan lugar a su naturaleza no cristalina. Su grado medio de polimerización (DP) está en el intervalo de 80-200DP, que se asocia con celulosa, proteínas de la pared celular, lignina y otros compuestos fenólicos mediante unión covalente e hidrógeno, y por interacciones iónicas e hidrofílicas (Sun et al., 2000). De igual manera, forman la matriz de apoyo para las microfibrillas de celulosa que, debido a sus características biocompatibles, no tóxicas y biodegradables, se utilizan en la preparación de biopolímeros funcionales, como hemicelulosas catiónicas o aniónicas (Salam et al., 2011; Schwikal et al., 2011).

Biosíntesis De Celulosa Las células vivas emplean la membrana plasmática para la síntesis de microfibrillas de celulosa (Baker & Bell, 1998), que está compuesta por un número de proteínas dispuestas de manera específica y de cadenas de glucano (Tsekos & Reiss, 1992). El precursor, UDP-glucosa, se puede generar a partir de la sacarosa en el sitio

de síntesis (Brett, 2000). En plantas superiores, la celulosa se sintetiza por complejos de celulosa sintasa que puede formar calosa o β -glucano (Somerville, 2006), que contienen múltiples isoformas (CESAs) (Holland et al., 2000). En estudios realizados por Li et al. (2013), se encontraron que, del total de 10 genes CESA en *Arabidopsis*, en tres de ellos se provocó el colapso de las células del xilema en tallos maduros e inflorescencias (*irx1cesa8*, *irx3cesa7* y *irx5cesa4*). Estos genes CESA se consideran pared celular secundaria, los otros se creen que están especializados para la síntesis de celulosa en la pared celular primaria. De igual forma, la biosíntesis de la celulosa le da forma a las células de la testa en *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana*). Por lo cual, en la semilla se expresa preferencialmente la celulosa sintasa 9 (CESA9), lo que aumenta proporcionalmente los azúcares neutros de pared celular y varios monómeros asociados (Stork et al., 2010).

Pudrición acuosa del pseudotallo o bacteriosis (*Dickeya chrysanthemi*): Enfermedad descrita en el país por Llano en (1966). En las plantas afectadas se observa inicialmente una quemazón en el borde de las hojas más viejas que luego avanza a toda la lámina foliar, ocasionando un amarillamiento total de la hoja. El síntoma principal en los pseudo tallos consiste de manchas acuosas, translúcidas, de color amarillento en sus comienzos y rojizo a castaño oscuro en sus últimas instancias. Esto afecta la parte basal de la planta produciendo un debilitamiento que puede ocasionar su doblamiento (Fernández y López, 1970). Un olor repugnante de los tejidos afectados se percibe e internamente se llena de un líquido cristalino que emana abundantemente al hacer presión sobre dichos tejidos. Los ataques comienzan en los pseudotallo más externos y a partir del punto en donde ocurre la infección se va extendiendo en todos los sentidos hasta afectar totalmente el sitio (Fernández y López, 1970). A través de procesos de múltiples infecciones, el pseudotallo de la planta se debilita, lo que origina su doblamiento por la zona más afectada.

Epidemiología: Según Belalcázar (1991), la enfermedad es de naturaleza endémica, razón por la cual se encuentra distribuida por todas las regiones donde se cultivan musáceas. Las bacterias de las pudriciones blandas pueden desarrollarse y mantenerse en actividad en una amplia variedad de temperaturas. Las temperaturas mínima, óptima y máxima para que se desarrolle la enfermedad son de 5°C, 22°C y 37°C respectivamente. Las bacterias mueren alrededor de los 50°C (Agrios, 2006). Entre los factores que favorecen el ataque *Dickeya* sp. Están los periodos largos de sequía alternados con fuertes lluvias y el desequilibrio

nutricional, especialmente respecto a potasio y boro. La bacteria penetra en la planta por medio de heridas y en algunas ocasiones por las lenticelas. Es diseminada por semillas infectadas, herramientas, agua, insectos vectores y Nematodos que ocasionan lesiones en las raíces y facilitan su entrada (Agrios, 2006).

El patógeno puede permanecer latente en las plantas ornamentales, plátanos, clavel, crisantemo, dalia, Dieffenbachia, Euphorbia, maíz, papa, cebolla, Philodendrum y se puede propagar por semilla, en este caso de musáceas. *Dickeya* sp. sobrevive en pseudo pecíolos en descomposición que quedan adheridos al seudotallo producto del deshoje (Martínez, 2001). Sobrevive en dichos pseudo tallos en pie y está presente en los estigmas de las flores donde son llevados por insectos. Las altas temperaturas y húmeda relativa (27°C- 100%) disminuyen el periodo de supervivencia de la bacteria en el suelo. Según Belalcázar (1991), la principal causa de la enfermedad es el desequilibrio nutricional especialmente en potasio y boro. Entre los factores que aumentan la severidad de la enfermedad están los largos períodos de sequía alternados con fuertes lluvias. Estos cambios drásticos son un factor predisponente para la entrada de la bacteria, posiblemente por la condición de estrés a que es sometida la planta.

Diseminación: Una de las causas de su diseminación selección de semilla y no desinfectar las herramientas y las heridas que se causan al seudotallo en las labores de desyerba (Fernández y López, 1970). El agricultor es el principal diseminador de la bacteria al no realizar las prácticas culturales adecuadas como destronques inmediatos al cosechar. Belalcázar et al, (1991) afirman que la alta incidencia de insectos como *Metamasius hemipterus* incrementa la dispersión de la bacteria en campo. La eliminación de hojas verdes sin desinfectar las herramientas de corte y las heridas que se causan al seudotallo en las labores de desyerba son los factores más comunes encontrados que ayudan a aumentar los problemas fitosanitarios en el cultivo. Conservar las plantas en estado avanzado de infección y no destrancar después de la cosecha aumentan el ataque de *M. hemipterus*, diseminador de la enfermedad.

Propiedades mecánicas de las fibras vegetales: Todas las fibras presentan características inherentes a su naturaleza, las mismas que determinan su utilidad al momento de emplearlas como refuerzo de matrices poliméricas. Estas características se encuentran

relacionadas con las propiedades mecánicas que pueden aportar al material (matriz), específicamente resistencia a esfuerzos de tracción, flexión, compresión e impacto. Es importante destacar que cuando se elige una fibra como refuerzo, se deben tomar en cuenta algunos parámetros importantes que determinarán la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentarán.

Potencial de trabajar con fibras naturales: Las ventajas de trabajar con materiales compuestos reforzados con fibras naturales que plantea la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura son: (ONU, 2012)

Reemplazo de fibras artificiales (vidrio y amianto). En muchos países, las restricciones ambientales se han colocado en la disposición final para los productos posconsumo basados en fibra de vidrio, y algunos incluso han prohibido su utilización, como para el amianto.

El refuerzo de termoplásticos convencionales y resinas termo endurecibles con fibras naturales o polímeros puede reducir la demanda de productos derivados del petróleo (basados en el carbono).

Adecuado para perfiles de construcción en la construcción civil en ciudades costeras.

Mejora de la calidad de la fibra en aplicaciones de uso final mediante el uso de mejores híbridos o variedades basados en el conocimiento genético, como el porcentaje de fibra y la resistencia mecánica

Mejora de la productividad agrícola y la calidad de la fibra mediante el uso de mejores procesos de extracción.

Desarrollo de nuevas máquinas (más pequeñas, de mejor calidad y mayor seguridad) para procesar e industrializar fibras naturales directamente en el campo.

Proporcionar una nueva fuente tanto de ingresos como de materias primas a la población rural en áreas económicamente desfavorecidas.

Menor costo en comparación con las fibras artificiales; el precio en peso es mucho más bajo para los productos hechos con fibras naturales en comparación con sus equivalentes sintéticos.

La fitomasa se utiliza por completo, aunque para muchas fibras de cultivo un porcentaje muy bajo está representado por las fibras mismas, y el resto representa una nueva fuente de materias primas o materia prima para productos químicos naturales.

Métodos de producción, cosecha, procesamiento y reciclaje o eliminación final respetuosos con el medio ambiente.

- Renovabilidad. Por definición, un recurso natural es renovable si su ciclo puede completarse en un período compatible con el ciclo humano.
- Resistencia. Los productos hechos con fibras naturales no se rompen cuando se procesan, a diferencia de sustancias comparables como las fibras de vidrio. Esto hace posible un procesamiento más intenso.
- Liberar en el medio ambiente residuos solo inofensivos cuando se incinera para la recuperación de energía o la eliminación final, sin la presencia de azufre o metales pesados.
- Su alta resistencia y bajo alargamiento los hace deseables para ciertas aplicaciones.
- Bajo consumo de energía cuando se procesa, debido a requisitos de baja temperatura y flexibilidad.
- Posibles aplicaciones con mayores niveles de refuerzo (hasta 90 por ciento) con nuevas tecnologías como extrusión e inyección.
- Los productos son competitivos cuando se consideran en términos del análisis del ciclo de vida (ver ISO 14.000).
- Apropiado para una estrategia nacional para crear empleos rurales en áreas económicamente desfavorecidas.
- Reciclabilidad. Los compuestos basados en fibras naturales se pueden reciclar muchas veces sin pérdida significativa de propiedades mecánicas.

2.3 Plátano

Planta del banano: La planta de banano es una hierba perenne de gran tamaño. Se la considera una hierba porque sus partes aéreas mueren y caen al suelo cuando termina la estación de cultivo, y es perenne porque de la base de la planta surge un brote llamado hijo, que reemplaza a la planta madre. El término utilizado para designar a la planta madre, sus hijos y el rizoma subterráneo es mata. Lo que parece ser el tronco es, en realidad, unseudotallo (ProMusa, 2016)

Características de la platanera: El pseudotallo del plátano mide 2-5 m, y su altura puede alcanzar 8 m con las hojas. Los frutos son bayas falsas sin semillas, cilíndricos distribuidos en manos de racimos de 30-70 plátanos que miden 20-40 cm de largo y 4-7 cm de diámetro, las partes de la platanera: hojas, frutos, rachis, bellota y pseudotallo (López y Gómez, 2014).

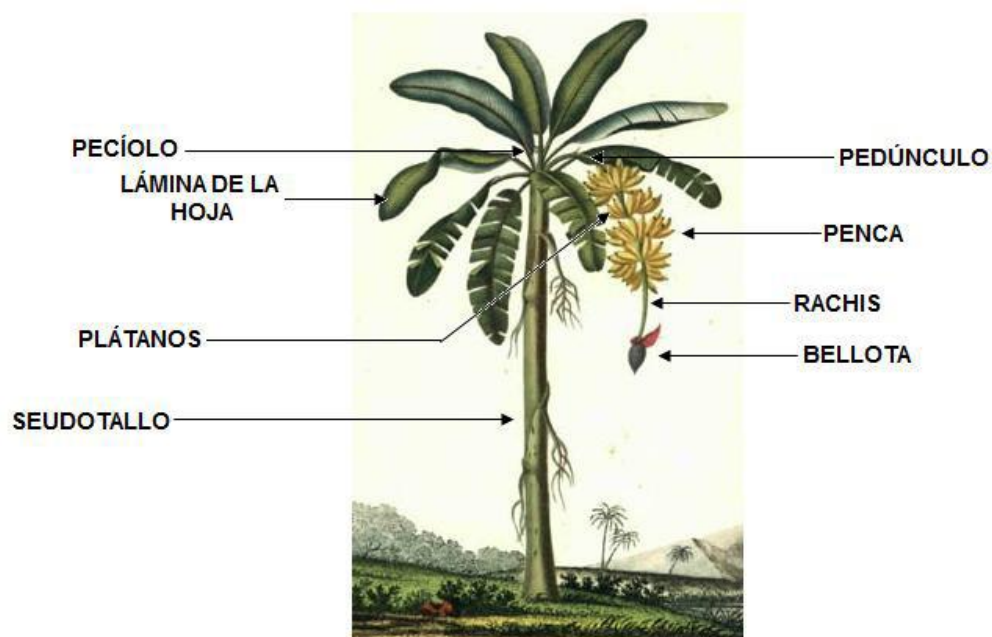


Figura 3. Partes planta plátano

Fuente: López, Montaña (2014)

Seudotallo: La parte de la planta que se asemeja a un tronco es, en realidad, un falso tallo denominadoseudotallo, y está formado por un conjunto apretado de vainas

foliares superpuestas. Aunque el seudotallo es muy carnosos y está formado principalmente por agua, es bastante fuerte y puede soportar un racimo de 50 kg o más. A medida que las hojas emergen, el seudotallo continúa creciendo hacia arriba y alcanza su máxima altura cuando el tallo verdadero el tallo floral que sirve de soporte a la inflorescencia surge en la parte superior de la planta.

Raquis: es el tallo de la inflorescencia, que va desde el primer fruto hasta la yema masculina. Puede estar desnudo o cubierto con brácteas persistentes. Las cicatrices en el raquis, que indican el lugar donde estaban unidas las brácteas, también se conocen como nódulos.

Composición química El contenido de humedad del pseudotallo de plátano fresco es de aproximadamente 96%. Las cantidades de composiciones químicas en la materia prima se enumeran en la Tabla 1. En comparación con las materias primas tradicionales utilizados en la industria de pulpa y fabricación de papel, se encontró que el contenido de holocelulosa en el pseudotallo era mucho menor que las fibras de madera (Gong 2007), pero aún más alta que la paja, que es un tipo típico de fibra no maderable. Sin embargo, el pseudo tallo tenía un menor contenido de lignina de la madera y paja. Mientras que la ceniza y el contenido extractivo en el pseudotallo fueron mayores que la de fibras de madera, que todavía eran inferiores a la paja.

En conclusión, el pseudotallo de plátano tiene potencial en la aplicación de la fabricación de pasta y fabricación de papel debido a su contenido aceptable de celulosa y el contenido de lignina de holocelulosa baja. Estudiado con CLSM (Xu et al., 2006), pero nunca se ha informado que la distribución de la lignina se puede correlacionar con la distribución de lignina en las fibras (Secretaria De Fomento Agropecuario, 2016)

Tabla 1. Composición química

%	Celulosa	Holocelulosa	Lignina Klason	Lignina soluble en ácido	Contenido de cenizas	Extractos
Pseudo tallo de plátano	39.12	72.71	8.88	1.90	8.20	3.05
Paja (Liu et al.2003)	45	77,64-79,22	22,37-23,40	2,05-2,38	0,52-1,03	2,00-2,20
Pino (Cai y Tao 2007)	45	71-83	24,57-29.85	0,37	0,27-0,28	1,11-3,51

Fuente: Kun, Shiyu, Huaiyu, Zhan y Lucian (2010)

El pseudo tallo del banano tiene una morfología única. Los haces de fibras están cubiertos por una membrana no celulósica y están contruidos por dos tipos de fibras: fibras elementales con diámetros de 10-15 mm y fibras estrechas con diámetros de 3 μm -4 μm No hay fibra elemental en la médula del banano. Las fibras estrechas se asemejan a tuberías en lugar de a los haces de fibras. Esta estructura, que nunca antes se ha informado, se considera que facilita el transporte de agua en la medula.

Producción de plátano: El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2014) a través del Tercer Censo Nacional Agropecuario, presenta información actualizada de la producción agropecuaria. Dado que la investigación se aplicó durante el año 2014, se constituye como la fuente de información estadística más importante del campo colombiano en los últimos 55 años, ya que recopila información de todas las Unidades Productoras Agropecuarias (UPA) existentes en la zona rural dispersa del territorio nacional, a fin de determinar su ubicación y características, así como las características sociodemográficas de los residentes en las Unidades Productivas UP.

Es el único de los tres censos realizados en Colombia, que se caracteriza por ser incluyente. Tuvo una cobertura operativa del 98.9%, cubriendo los 1.101 municipios del país, el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, 32 departamentos, 20 áreas no municipalizadas, 773 resguardos indígenas, 181 tierras de comunidades negras y 56 parques nacionales naturales.

En el grupo de tubérculos y plátanos el 50,7 % del total del área agrícola cosechada en el área rural dispersa censada correspondió a cultivos de plátano, seguido de yuca con el 26,7 %, papa con el 10,4 % y otros tubérculos con el 12,2 %. Respecto a la producción, el plátano presentó la mayor participación con el 37,3 %, seguido de la yuca con el 37,6 %, la papa con el 21,2 % y los otros tubérculos con una producción de 4,0 % de toneladas. En el cultivo de plátano, los departamentos de Antioquia, Meta, Tolima, Nariño y Córdoba representaron el 54,0 % de la producción (fruto fresco) en el área rural dispersa censada. A su vez, estos departamentos concentraron el 48,9 % del área cosechada de plátano. El rendimiento promedio de este cultivo a nivel nacional fue de 5,7 (ton/ha.) de plátano (fruto fresco) (DANE, 2014).

A continuación, se encuentra la información arrojada hacia el Departamento de Boyacá, donde se observa la producción de cultivos de plátano y banano.

Tabla 2. Encuesta nacional agropecuaria

Cultivo	Área sembrada Boyacá (Ha) 2015	Área sembrada en Colombia 2015	Total, producción Boyacá (Tn) 2015	Participación producción Colombia 2015
Plátano	1.985,11	0,84%	7090,38	0,57%
Banano	79,04	0,43%	433,32	0,32%

Fuente DANE (2015)

En la siguiente tabla se encuentra la información concerniente a la producción agrícola por municipios en el año 2015 entre las cuales se encuentra producción en toneladas y hectáreas de productos agrícolas permanente.

Tabla 3. Producción agrícola permanente por municipios

Municipio	Cultivo	Área	Área	Producción (T)	Rendimiento (T/Ha)
		sembrada (Ha)	cosechada (Ha)		
Berbeo	Bananito	2	2	16	8
	Plátano	23	21	168	8
Boavita	Plátano	30	21	63	3
Briceño	Bananito	12	12	24	2
	Plátano	28	28	140	5
Campo Hermoso	Plátano	155	130	1.170	9
Chinavita	Plátano	4	6	18	3
Chivor	Plátano	10	10	125	12,50
Coper	Plátano	130	100	700	7
Cubara	Plátano	30	30	240	8
Garagoa	Plátano	32	32	256	8
Guayata	Plátano	60	48	230,40	4,80
La Victoria	Plátano	11	5	20	4
Labranzagran-de	plátano	25	24	96	4
Maripi	Plátano	51	40	260	6,50
	Plátano	90	73	438	6
Miraflores	Plátano	30	20	100	5
Moniquirá	Plátano	621	300	2.700	9
Muzo	Plátano	23	10	80	8
	Plátano	70	60	300	5
Otanche	Plátano	520	320	2.560	8
Pachavita	Plátano	26	20	100	5
Páez	Plátano	55	55	550	10
Pajarito	Plátano	8	6	42	7
Pauna	Plátano	150	100	400	4
Paya	Plátano	20	17	153	9
Pisba	Plátano	70	70	350	5
Puerto Boyacá	Plátano	360	350	7.000	20
Quipama	Plátano	170	130	520	4
Rondón	Banano	59	30	120	4
San José de Pare	Plátano	107	54	594	11
San Luis de Gaceno	Plátano	278	270	3.024	11,20
San Mateo	Plátano	20	20	200	10
San Pablo de Borbur	Plátano	500	450	3.600	8
Santa María	Plátano	110	110	385	3,50
Sativa Norte	Plátano	8	6	12	2
Somondoco	Plátano	15	10	45	4,50
Sutatenza	Plátano	3	1	5	5
Tenza	Plátano	27	27	216	8
Togui	Banano	362	293	1.904	6,50
	Plátano	695	560	4.200	7,50
Tunungua	Plátano	45	40	240	6

Fuente: Secretaria De Fomento Agropecuario, (2016)

Tabla 4. Total de producción en toneladas y hectáreas de productos agrícolas permanentes

Cultivo	Área sembrada (Ha)	Área cosechada (Ha)	Producción (T)
Bananito	14	14	40
Banano	421	323	2.024,50
Plátano	4.610	3.574	31.300,40
Total	5.045	3.911	33.364,90

Fuente: Secretaria De Fomento Agropecuario, (2016)2.4 Tejas de arcilla

Elaboración tejas de arcilla

Los siguientes son los pasos que siguen los productores de tejas de arcilla:

Explotación de la arcilla: Se hace la explotación de arcillolita y areniscas de grano fino de matriz limo arcilloso que es la materia prima de la cantera utilizando generalmente pica y pala, y en algunos casos maquinaria pesada.

Preparación del fango: eliminar los terrones de arcilla, manteniendo una granulometría fina y adicionar agua a la arcilla hasta obtener un fango homogéneo.

Moldeado de adobes: con moldes de madera se cortan las tejas en el fango.

Secado de adobes: se dejan secar los adobes al medio ambiente.

Cargado del horno: llevar los adobes al interior del horno.

Preparación de la quema: alistar el carbón y el coque para iniciar el calentamiento. Del horno.

Cocción de las tejas: mantener la temperatura del horno entre 700°C y 900°C

Descargado del horno: sacar las tejas del horno

Almacenamiento: mantener las tejas en el patio hasta su entrega al cliente. (López et al, 2016)



Figura 4. Elaboración tejas de arcilla

Fuente: López, Pérez & Pedraza, (2016).

Sogamoso como referente local Datos generales recolectados secretaría de desarrollo y medio ambiente del municipio de Sogamoso: (López, Pérez & Pedraza, 2016)

El sector Alfarero del Municipio de Sogamoso cuenta con 154 hornos de cocción de productos de arcilla (ladrillo y teja).

El sector Alfarero del municipio de Sogamoso se desarrolla en diez (10) sectores: Pantanitos Alto, Pantanitos Bajo, Malvinas, Buenavista, Maituzca, San José Porvenir, san José Bolívar, Bata Alto, Bata bajo y Ramada Chiquita.

El estimado del número de personas que trabajan y dependen económicamente de esta actividad: Son 7 trabajadores por horno los cuales tienen familia con un número de integrantes de 3 a 5 personas; es decir hay una aproximación de 4000 personas dependientes de esta actividad.

Los hornos que están autorizados por CORPOBOYACÁ, para el funcionamiento son de Cúpula, ducto y chimenea; los cuales permiten la correcta descarga de emisiones atmosféricas al aire.

Las capacidades en unidades en los hornos son de 17.000 a 35.000 de ladrillos y tejas.

En el manejo ambiental que actualmente se da para regular el funcionamiento de los hornos, los propietarios de los hornos tienen que proteger las fuentes de agua presentes en el sector, así mismo realizar siembra de plantas nativas, las cuales tienen que distribuir según lo disponga el plan de manejo ambiental aprobado por CORPOBOYACÁ en cada paso.

Para realizar control, vigilancia y seguimiento la Alcaldía Municipal cuenta con dos personas, las cuales llevan a cabo dicho control en el sector alfarero, trabajando mancomunadamente con la Corporación Autónoma de Boyacá, con el fin de intervenir ante cualquier irregularidad en el funcionamiento de dichos hornos que vaya en contra de la protección del Medio ambiente.

Las exigencias o requisitos para el funcionamiento de los hornos se dan por medio de las Resoluciones 1465 del 03 de junio de 2015, 0618 del 30 de abril de 2013 y 3397 de 12 de diciembre de 2014 expedidas por CORPOBOYACÁ, en las cuales están establecidas las obligaciones y requerimientos para el funcionamiento de los hornos de cocción de productos derivados de la arcilla tales como: ladrillos y tejas.

El pico y placa para el funcionamiento de los hornos está conformado por cuatro semanas, de las cuales a cada horno le corresponde solamente una semana al mes.

El combustible que se debe utilizar durante el proceso de cocción es coque.

Únicamente podrán operar los hornos de producción de ladrillo y teja que hayan terminado los procesos de reconversión tecnológica que incluya el horno con captación cúpula y/o chimenea para la descarga de las emisiones producidas durante el proceso.

La extracción de arcillas y arenas la regula la Agencia Nacional Minera, ya que ellos son los encargados de dar viabilidad de un título para la explotación, ellos realizan las respectivas visitas de control, seguimiento y vigilancia a los puntos de explotación y actúan ante un irregularidad, así mismo los vigías ambientales encargados del sector alfarero informan a la Agencia Nacional Minera cuando se evidencia alguna inadecuada explotación minera, la Corporación Autónoma de Boyacá también realiza visitas de control, seguimiento y vigilancia al sector alfarero durante el proceso de producción para evitar un mal manejo ambiental.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología, la caracterización mecánica y los métodos planteados para el desarrollo de este proyecto, teniendo como objetivo la caracterización del material compuesto reforzado con fibra de pseudo tallo de plátano.

3.1 Planteamiento metodológico

La presente investigación se desarrolló dentro de un contexto Teórico –Experimental, en donde se pretende aplicar la metodología experimental multivariada, la cual tiene como objetivo identificar las causas y evaluar los efectos de la interacción de dos o más variables por medio de un proceso sistemático. Esta metodología se implementó con el fin de conocer inicialmente las características físicas de las fibras de pseudo tallo de plátano. Se obtuvieron las fibras del pseudo tallo del plátano recolectadas en cultivos, que fueron cortadas después de la cosecha, y por medio manual se hace el proceso de desfibrado. Luego las fibras son sometidas a un proceso de cepillado y secado. Se establecieron las propiedades mecánicas de las fibras al utilizar resinas sintéticas como matriz polimérica y analizar el material compuesto definiendo las características del material. Por último se hizo la aplicación del material en la elaboración del prototipo de una teja como aplicación del producto final.

3.2 Caracterización mecánica

3.2.1 Ensayo de flexión

Esta es una prueba estándar para determinar la capacidad de carga del panel laminado tipo sándwich. Este ensayo se realizó mediante la norma D7264/D7264M-07, como lo indica la Figura 4. Este método de ensayo determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica. El procedimiento aplicado corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. Las propiedades a flexión pueden variar dependiendo de la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico. Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado. Las propiedades a flexión también pueden variar de acuerdo al espesor de la probeta, ambientes

condicionantes o de ensayo en el que se ejecutan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo. Cuando se evalúan distintos materiales, los parámetros deben ser equivalentes para la comparación de todos los datos obtenidos. (ASTM, s.f.)

Para la realización de este ensayo, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, a menos que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como en el caso de un diseño experimental. Las dimensiones de las probetas requeridas para los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM, y de igual manera, las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión analizadas. Las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo. Al igual que en el ensayo de tracción, las marcas ocasionadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo. De esta manera se alcanza una preselección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo.

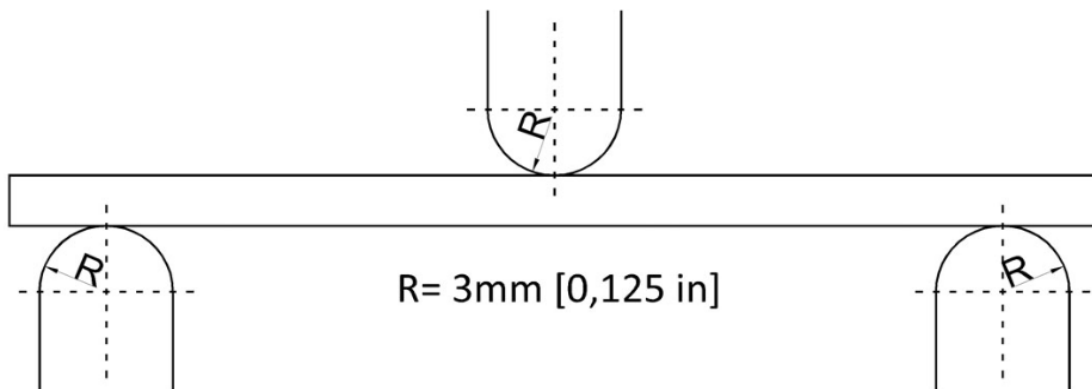


Figura 5. Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada

Fuente: (ASTM D7264/D7264M – 07).

3.2.2 Ensayo de compresión

Se hizo con el fin de determinar si la matriz polimérica cumple con las especificaciones del fabricante, puesto que la fibra trabaja solamente a tracción y esfuerzo cortante. El ensayo de compresión se realizó bajo la norma ASTM D3410 / D3410M - 03: Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de materiales compuestos de matriz polimérica con sección de galga no soportada por carga de corte.

Este método de prueba está diseñado para producir datos de propiedades de compresión para especificaciones de materiales, investigación y desarrollo, control de calidad y diseño, y análisis estructural. Los factores que influyen en la respuesta compresiva y, por lo tanto, deben informarse incluyen lo siguiente: material, métodos de preparación y disposición del material, secuencia de apilamiento de la muestra, preparación de la muestra, acondicionamiento de la muestra, entorno de prueba, alineación y agarre de la muestra, velocidad de la prueba, tiempo a la temperatura, contenido vacío, y porcentaje de refuerzo por volumen.

Este método de prueba determina las propiedades de compresión en el plano de los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras de alto módulo. Las formas de material compuesto están limitadas a compuestos reforzados de fibra continua o fibra discontinua para los cuales las propiedades elásticas son especialmente ortótropas con respecto a la dirección de la prueba. Este procedimiento de prueba introduce la fuerza de compresión en la muestra a través del corte en las interfaces de agarre de cuña.

Es aplicable a materiales compuestos hechos de cinta unidireccional, colocación en remolque húmedo, textil (por ejemplo, tela), fibras cortas o formas de productos similares. Algunas formas de productos pueden requerir desviaciones del método de prueba.

3.3 Equipos y materiales

En la tabla 5 se identifican los equipos y materiales usados durante el desarrollo del proceso.

Tabla 5. Equipos y materiales

Actividad		Equipos y/o materiales
Recolección de información	-	Computador
	-	Internet
	-	Libros especializados
	-	Revistas científicas
Registro fotográfico del proceso	-	Cámara fotográfica
Obtención de las fibras	-	Cuchillo
	-	Cepillo
	-	Espátula
Fabricación de tejidos	-	Tijeras
	-	Tarabas
	-	Cintas
Elaboración del material	-	Plastilina
	-	Modelo de madera
	-	Vidrio
	-	Desmoldante
	-	Resina
	-	Iniciador
	-	Promotor
Pruebas mecánicas	-	Prensa de Compresión Inconfinada
	-	Maquina universal de ensayos

3.4 Metodología de procedimiento

A continuación, se evidencia la metodología por procesos que se utilizó para el desarrollo del proyecto. En la tabla 6 se explica el paso a paso que se llevó a cabo para la obtención de fibras. En la tabla 7 se tuvo en cuenta el proceso general del laminado manual para el desarrollo del material compuesto. Para la caracterización mecánica del material se realizaron ensayos de flexión y compresión bajo las normas ASTM mencionadas en la tabla 8. Para la elaboración de las tejas se explica el proceso indicado en la tabla 9.

Tabla 6. Obtención de fibras de pseudotallo de plátano

Actividad	Descripción	Observaciones
Obtención de las fibras	Producción de fibras de pseudotallo de plátano	Separación de los residuos de la planta
		Cortar el pseudotallo
		Transporte del material
		Separación de calcetas
		Dividir capas
		Sacar la fibra
		Recoger las fibras
		Retirar residuos
		lavar las fibras
		Secar las fibras
Peinar las fibras		
		Retirar residuos

Fuente: presente estudio, 2019

Tabla 7. Material compuesto

Actividad	Descripción	Observaciones
Moldeo manual	Elaboración de un material compuesto por proceso manual	- Alistar el molde - Aplicar desmoldante - Alistar las fibras - Cortar las fibras - Pesar las fibras
Preparación de la resina	Establecer la relación de la resina sintética	- Medir la resina - Aplicar iniciador, promotor, monómero - Mezclar
Preparación del material	Proceso para desarrollar materiales compuestos	- Colocar el molde - Colocar fibras - Impregnar las fibras con resina - Revisar que todas las fibras estén impregnadas completamente - verificar la matriz - esperar el secado de la resina - establecer tiempo de secado - retirar el material compuesto del molde - esperar el proceso final de curado

Fuente: presente estudio, 2019

Tabla 8. Caracterización mecánica del material

Actividad	Descripción	Observaciones
Análisis del material	Ensayo de flexión	ASTM D7264 / D7264M - 07 Método de prueba estándar para las propiedades de flexión de los materiales compuestos de matriz polimérica.
	Ensayo de compresión	ASTM D3410 / D3410M -16 Método de prueba estándar para las propiedades de compresión de materiales compuestos de matriz polimérica con sección de galga no soportada por carga de corte.

Fuente: presente estudio, 2019

Tabla 9. Elaboración de tejas

Actividad	Descripción	Observaciones
Fabricación de tejas	Producción de tejas con fibras de pseudotallo de plátano como refuerzo del material compuesto	Preparación de las fibras Tejido de fibras Colocar el molde Colocar desmoldante Impregnar las fibras con resina Esperar curado Realizar análisis para determinar propiedades mecánicas.

Fuente: presente estudio, 2019

3.5 Descriptores de la banana

La lista de Descriptores para el banano (*Musa spp.*) es una revisión de la publicación original del IBPGR “Revised banana descriptors” (CIRAD, 1984).

Una lista ampliamente modificada y actualizada fue desarrollada por Jean-Pierre Horry y Elizabeth Arnaud (IPGRI-INIBAP) y preparada en el formato del IPGRI (Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos es un instituto de investigación internacional con el mandato de avanzar en la conservación y el uso de la diversidad genética para el bienestar de las generaciones actuales y futuras. (FAO, s.f.)

Es un Centro del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). A partir de diciembre del 2006, IPGRI opera bajo el nombre Bioversity International, o Bioversity) internacionalmente aceptado para listas de descriptores. Incluye en la sección Caracterización los descriptores desarrollados por el Departamento de producción frutícola y hortícola del CIRAD (CIRAD-FLHOR). Estos descriptores pueden ser usados con MUSAID, el programa elaborado por el CIRAD para ayudar con la identificación de los cultivares y especies de *Musa*. Los especialistas del CIRAD e IPGRI-INIBAP han cooperado en el desarrollo de esta guía. El IPGRI promueve la recolección de datos sobre las primeras cuatro categorías de esta lista: Pasaporte, Manejo, Sitio y medio ambiente, Caracterización, y ha establecido que los datos contenidos en estas categorías deberían estar disponibles para cualquier acceso.

Si bien este sistema de codificación no debe considerarse un esquema definitivo, este formato representa un importante instrumento para un sistema de caracterización estandarizado y el IPGRI lo promueve a nivel mundial. Este formato es compatible con el de la Base de datos de información de germoplasma de Musa, que incluirá el programa MUS Aid, actualmente en desarrollo en IPGRI - INIBAP.

3.6 Tejidos

Los materiales de refuerzo se combinan con sistema de resinas en una variedad de formas para crear láminas estructurales. Se han adaptado formas diferentes de refuerzo para métodos particulares de procesos o los métodos han sido creados alrededor del tipo de refuerzo.

Muchos de los atributos físicos de refuerzo se deben al entrelazado del material. Algunos entrelazados son más fáciles de humedecer, algunos son más fáciles de plegar y algunos otros alcanzan una resistencia mayor dependiendo sus fibras. Los estilos de entrelazado pueden ser: simples, en canasta, cruzado, en araña, satín de 5 arneses, satín de 8 arneses, hilvanado y biaxial entrelazado.

Los entrelazados utilizados para su posterior uso en la fabricación de probetas fueron los siguientes:

Entrelazado simple: se forma entrelazando el hilo en un arreglo de uno sobre otro. Con frecuencia los entrelazados simples serán muy abiertos y fácilmente humedecidos. Los entrelazados abiertos también requerirán un contenido de resina más alto para llenar los huecos en el patrón del entrelazado.

Entrelazado en canasta: se agrupan dos hilos y se entrelazan de un arreglo de dos sobre dos. Los hilos se amarran en forma más plana en un entrelazado de canasta y el material es más flexible. Los entrelazados de canasta tienen menos pandeo previo debido a que los hilos no se alternan uno sobre otro.

Entrelazado cruzado: también conocido como entrelazado de satín, es como un entrelazado de canasta donde los hilos se entrelazan sobre dos hilos, sin embargo, es solamente un hilo a la vez que es entrelazado en lugar de dos. Los tejidos cruzados se

caracterizan por el patrón diagonal que se forma en el entrelazado, con frecuencia se utilizan para entrelazados gruesos de refuerzos fuertes.

3.7 Software Ces EduPack

CES EduPack es una completa herramienta de apoyo al aprendizaje de la Ciencia de los Materiales en una gran cantidad de ámbitos como ingeniería, ciencias, procesos y diseños, etc. Se trata de un software de selección de materiales con el cual se puede encontrar en su amplia base de datos aquel material o proceso que se adapta mejor a determinadas exigencias y condiciones. Más de 800 las universidades de todo el mundo utilizan este programa, aunque no sólo las universidades utilizan este software. Gran cantidad de empresas e entidades mundialmente conocidas también se han hecho con sus servicios, algunas de ellas tan importantes como: Ferrari, Renault F1, Intel, NASA, etc. Por lo tanto, no cabe duda de que esta es una herramienta con un gran potencial. En su base de datos podemos encontrar hasta más de 3000 materiales diferentes, más de 200 procesos, todo tipo de datos técnicos, “notas científicas” e información completa e ilustrativa de todos estos materiales y procesos. El objetivo de este manual consiste en enseñar al usuario todos los conocimientos básicos necesarios para la correcta utilización del software, así como las funciones de las herramientas principales y la correcta aplicación de cada una de ellas.

El programa dispone de una base de datos dividida en tres niveles:

Nivel 1 (Iniciación): En este nivel se pueden encontrar 67 materiales diferentes, los más utilizados de entre las distintas familias: metales y aleaciones, cerámicas (técnicas y no técnicas), polímeros, elastómeros, espumas, compuestos, vidrios y materiales naturales. Dispone de 77 procesos diferentes, los más utilizados de entre: conformado, tratamiento superficial y unión. En cuanto al contenido de este nivel, se puede encontrar una descripción detallada del material o proceso, una imagen, un producto familiar, usos típicos y datos técnicos básicos para propiedades generales, mecánicas, térmicas, eléctricas, etc.

Nivel 2 (Intermedio): En este nivel se pueden encontrar 98 materiales diferentes, los más utilizados más algunos otros no tan comunes de entre las mismas familias que en el nivel anterior. Se dispone de 109 procesos diferentes de entre conformado, tratamiento superficial y unión. El contenido en este nivel es más completo que en el nivel anterior: se puede

encontrar la misma información que en el nivel 1 pero complementada con más datos numéricos, más propiedades, pautas de diseño y notas técnicas.

Nivel 3 (Avanzado): Se trata del nivel más complejo de todos, en él se pueden encontrar 2954 materiales diferentes y 230 procesos diferentes, materiales y procesos de uso avanzado utilizados en campos como la aeronáutica, arquitectura e ingeniería civil, bio-materiales, etc. Este nivel dispone del contenido más amplio y detallado de entre los 3 niveles anteriores, se puede acceder a todo tipo de propiedades y datos técnicos (Ces edupack s.f.)

CES EduPack es un conjunto único de recursos de enseñanza que apoyan la educación de materiales en ingeniería, diseño, ciencia y desarrollo sostenible.

CES EduPack proporciona:

Una completa base de datos de materiales e información de procesos.

Potentes herramientas de software de materiales.

Gama de recursos de apoyo: por ejemplo, conferencias, proyectos y ejercicios.

CES EduPack se divide en tres niveles para que los estudiantes accedan a un nivel adecuado de información de materiales a medida que avanzan en sus estudios, es decir, desde preuniversitarios hasta cursos de posgrado. Para una enseñanza o investigación más avanzada.

La herramienta CES Selector es la herramienta estándar para la selección de materiales y el análisis gráfico de las propiedades de los materiales en la industria. En las universidades, se utiliza tanto en proyectos avanzados de enseñanza como de investigación, para identificar rápidamente soluciones a problemas materiales complejos.

Se basa en los mismos principios que el software CES EduPack, pero proporciona herramientas especializadas más poderosas, datos de propiedad de materiales extensos y análisis gráfico avanzado para centros de investigación y enseñanza avanzada.

3.7.1 CES EduPack y un enfoque dirigido por la ciencia.

CES EduPack está diseñado para complementar y apoyar la enseñanza, sea cual sea su enfoque y si utiliza o no un libro de texto. Con este recurso de enseñanza, encontrará un

documento que describe el uso de CES EduPack con el libro de texto de Callister . Aquí puede ver ideas sobre cómo puede usar la base de datos de elementos para ilustrar tendencias y relaciones entre las propiedades de la tabla periódica; Qué simples gráficos de burbujas del Módulo de Young v Densidad se puede usar para ayudar a los estudiantes a comprender las diferentes familias de materiales y qué (por ejemplo, la unión y la estructura del cristal) afecta sus propiedades. Los estudiantes pueden acceder a Science Notes que refuerzan la teoría e incluyen referencias a textos estándar (no solo Callister, sino también libros de: Askeland, Budinski y Shackelford). Los temas como los diagramas de fase y la cristalografía se pueden cubrir con herramientas interactivas en la nueva **edición** de **MS&E** de CES EduPack. El tratamiento térmico y otras formas de manipular las propiedades de los materiales también se ilustran fácilmente. Luego, los estudiantes pueden seleccionar materiales para un proyecto en función de estas propiedades, desarrollando una perspectiva sobre cómo la ciencia fundamental se traduce en aplicaciones de ingeniería reales (Ces Edupack, s.f.)

3.7.2 CES EduPack y un enfoque dirigido por el diseño.

En este enfoque, el estudiante comienza con un reto de diseño. El software CES EduPack les permite identificar las familias de materiales que mejor se adapten a sus necesidades. Luego, pueden explorar por qué diferentes materiales funcionan de manera diferente, "profundizando" en los recursos de información de EduPack para obtener más información sobre la ciencia subyacente. EduPack está particularmente bien integrado con los libros de texto de la profesora Ashby, que adoptan el enfoque dirigido por el diseño. Muchos departamentos de ingeniería utilizan este enfoque para motivar a los estudiantes a aprender sobre los materiales (Ces Edupack, s.f.)

3.7.3 Acreditación

CES EduPack puede usarse para apoyar la enseñanza que cumple con muchos resultados de aprendizaje clave, lo que la convierte en una herramienta útil para diseñar planes de estudio que cumplan con los sistemas modernos basados en resultados para garantizar la calidad. Enseñanza con CES EduPack respalda iniciativas como los programas de estudio en ingeniería CDIO (Concept Design Implement Operate), que fomenta resultados de aprendizaje similares a los requeridos por los principales grupos de acreditación como ABET y el sistema europeo EUR-ACE. (Edupack, s.f.)

3.8 Moldeo por contacto: laminación manual

A pesar de ser una técnica sencilla y artesanal, con mucha dependencia de la habilidad del operario, continúa siendo, a lo largo de los años la más difundida por su bajo costo y la adecuación a piezas de diferentes tamaños y formas sin excesivos problemas.

La técnica de laminado manual, encuadra en el grupo de técnicas de moldeo por contacto, es sin duda la más antigua de todas las técnicas conocidas en la fabricación de piezas con materiales compuesto. Todas las técnicas de laminado por contacto (laminado manual o proyección simultánea) aprovechan todas las ventajas de los sistemas de matrices poliéster y vinil éster en su procedimiento de curado: que no necesitan la aportación de calor externo para su polimerización al completo ni la alta presión de moldeo para su estratificación. (Besednjak)

Proceso. El proceso de laminado manual consiste en la aplicación de sucesivas capas de material (fieltros, tejidos, ensamblados) impregnadas con resina, y consolidadas mediante la utilización de un rodillo o brocha. La acción al pasar el rodillo sobre la superficie tiene dos razones fundamentales: la primera es ayudar a la impregnación del refuerzo, y la segunda, intentar evitar que queden burbujas de aire atrapadas entre las sucesivas capas del estratificado. La presión compactada no será otra que la que ejerce la mano sobre el rodillo.

CAPITULO 4. RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos a partir del desarrollo y aplicación de la metodología mencionada en el capítulo anterior, se describen el desarrollo de cada uno de los métodos y el resultado final de este proyecto.

4.1 Obtención de la materia prima

Para la obtención de la fibra se recolectaron pseudo tallos de plantaciones mixtas de los municipios de Moniquirá, Villa de Leyva, Tinjacá, Soata y Duitama (Boyacá, Colombia). En la tabla 10, se evidencian los climas de cada municipio.

Tabla 10. Temperatura por municipios

Municipio	Temperatura °C	Piso térmico
Moniquirá	11-24	Templado
Villa de Leyva	10-22	Templado
Tinjacá	16-23	Templado
Soata	12-25	Templado
Duitama	7-19	Frío

Fuente: IDEAM (s.f.)

Teniendo en cuenta la temperatura de los municipios en los que se obtuvieron los pseudo tallos, se evidenció que aquellos obtenidos en clima templado se extrajo mayor cantidad de fibra que los conseguidos de clima frío, debido a que estos últimos eran más pequeños, con menor cantidad de calcetas y la fibra se quebraba durante la extracción lo que dificultaba el procedimiento.

El proceso de extracción empieza con una revisión de las plantas presentes en las fincas, debido a que estas se fundamentan en cultivos mixtos, se pueden encontrar plantaciones de plátano, café, naranja, caña de azúcar, maíz, gulupa entre otros, de forma ordenada o aleatoria. En la Figura 6 se puede observar los cultivos visitados para la recolección de la materia prima.



Figura 6. Identificación de las plantas de plátano en medio de cultivos mixtos.

Fuente: presente estudio, 2019.

Después de la identificación de las plantas de plátano se realizó el corte de los pseudo tallos que ya no producen fruto por lo que son considerado desechos para el cultivador, como se muestra en la figura 7. Al realizar el corte del pseudo tallo brotan chorros de agua, debido a que el seudotallo es muy carnoso y está formado principalmente por agua (96%), es bastante fuerte y puede soportar un racimo de 50 kg o más.



Figura 7. Pseudo tallos después de ser cortados.

Fuente: presente estudio, 2019.

Estos se trasladan al punto de manejo/acopio (Duitama, Boyacá) donde se hace la separación de calcetas de cada uno, identificando la cantidad, composición y partes maltratadas, dañadas o podridas para seleccionar las calcetas que están en óptimas condiciones; para esto se tienen en cuenta aspectos del pseudo tallo tales como: altura, diámetro, peso, aspecto, color y pigmentación. Al descomponer el pseudo tallo se evidencia que está conformado por un conjunto de vainas foliares (calcetas) como se presenta en la figura 8, que están superpuestas alrededor de un “tronco” delgado que es el que da soporte y estructura a la planta.

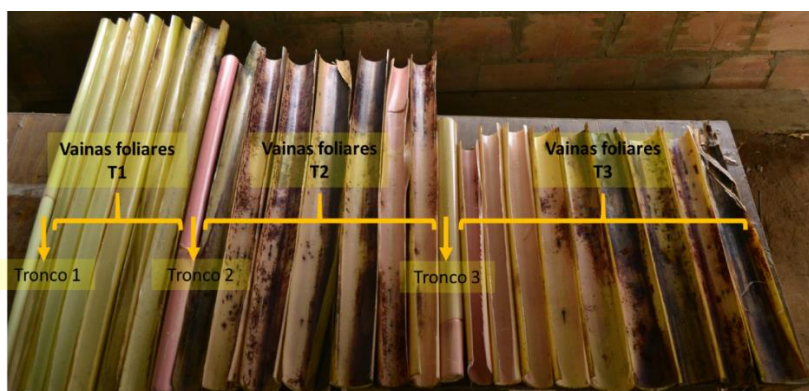


Figura 8. Separación de 3 pseudo tallos, con sus respectivas vainas foliares y troncos.

Fuente: presente estudio, 2019.

En la Figura 9 se aprecia la vista de un corte transversal del pseudotallo compuesto por las vainas foliares que están superpuestas en forma de espiral alrededor del tronco.

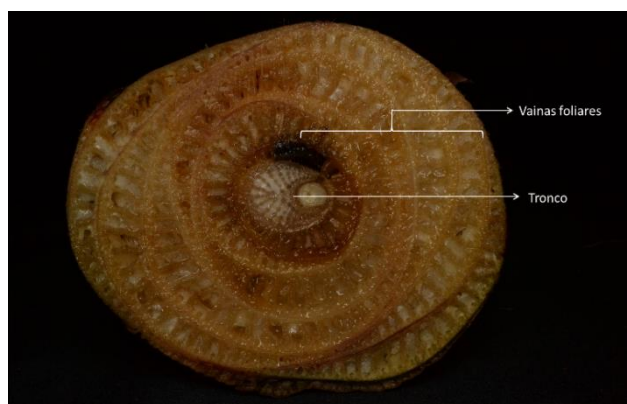


Figura 9. Corte transversal, evidenciando la oxidación que presenta el pseudotallo al momento en que se corta y entra en contacto con el aire.

Fuente: presente estudio, 2019.

4.2 Métodos realizados para la producción de fibra

Para la obtención de la fibra se realizaron 5 métodos o formas de experimentación debido a que no se encontró una forma estandarizada para la extracción. A continuación, se explican cada uno de ellos con su respectivo proceso.

4.2.1 Primer método

En la primera forma de experimentación, para la extracción de la fibra se hizo la separación de las vainas foliares (calcetas) del tronco y se pusieron a secar sobre una malla metálica que estaba sujeta a un techo de láminas de zinc, lo que permitía que tuvieran circulación de aire, protección a la lluvia y a la exposición al sol. Las calcetas quedaron expuestas a una temperatura ambiente (temperatura promedio Duitama: Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 7 °C a 19 °C) como se ve en la figura 10.



Figura 10. Primer método de secado de las calcetas.

Fuente: presente estudio, 2019.

Para este proceso se dejaron secar las calcetas durante dos meses. En este tipo se observó que se demoraban mucho en secar, debido a su gran contenido de agua. La extracción de las fibras se hizo de forma manual, “pellizcando” las calcetas para ir las dividiendo en fibras o cintas, pero debido a que las calcetas duraron tanto tiempo secando quedaron muy frágiles y fue de difícil obtención ya que el material se quebraba demasiado y no salían fibras similares

en longitud y grosor. Esto dificultaba seleccionar las fibras para ser usadas posteriormente en la fabricación del material.

Con este método se concluyó que la mejor forma de trabajar las calcetas era sin dejarlas secar, es decir recién separadas las calcetas del tronco estando “verdes”.

Como verificación de la conclusión anterior se usaron pseudo tallos recién cortados, se separaron las calcetas del tronco y estas fueron pasadas en una maquina dobladora como se ve en la figura 11, usada en el laboratorio de polímeros de la UPTC seccional Duitama, compuesta por dos rodillos que fueron ajustados para hacer presión en las calcetas. Al pasarlas por la dobladora se eliminó una pequeña porción de agua, generando que la calceta se compactara, quedando todavía con abundante agua.

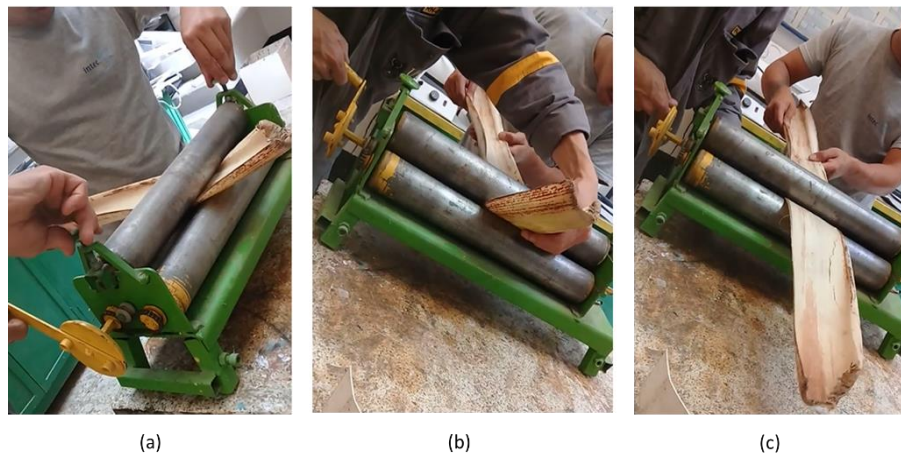


Figura 11. (a) Ajuste manual de los rodillos, (b) calceta pasada por la dobladora, (c) calceta compactada.

Fuente: presente estudio, 2019.

Se determinó que este método no era óptimo para la extracción debido a que las calcetas seguían conteniendo demasiada agua y demandaba mucho tiempo para su secado. Así como también se observó que debido a la humedad las calcetas al no ser separadas del tronco y puesto a secar completo el pseudo tallo se pudre en menos de 1 semana aproximadamente, por lo que estos ya no sirven como materia prima. Lo que conlleva a realizar los procesos de extracción de manera rápida para no perder material.

4.2.2 Segundo método

Como segunda forma de experimentación, se cortaron nuevos pseudo tallos se les retiraron las dos primeras calcetas debido a que estaban en mal estado y se separaron sus vainas foliares del tronco como se ve en la figura 12.



Figura 12. Separación manual de las calcetas

Sin dejarlas secar se identificó que las vainas foliares están compuestas por 3 capas, entonces se cortaron en varias tiras de 3-7 cm aproximadamente de ancho, por el largo de la calceta, ya que si se dejan más anchas se tienden a curvar, para posteriormente abrirlas por capas como se muestra en la figura 13.

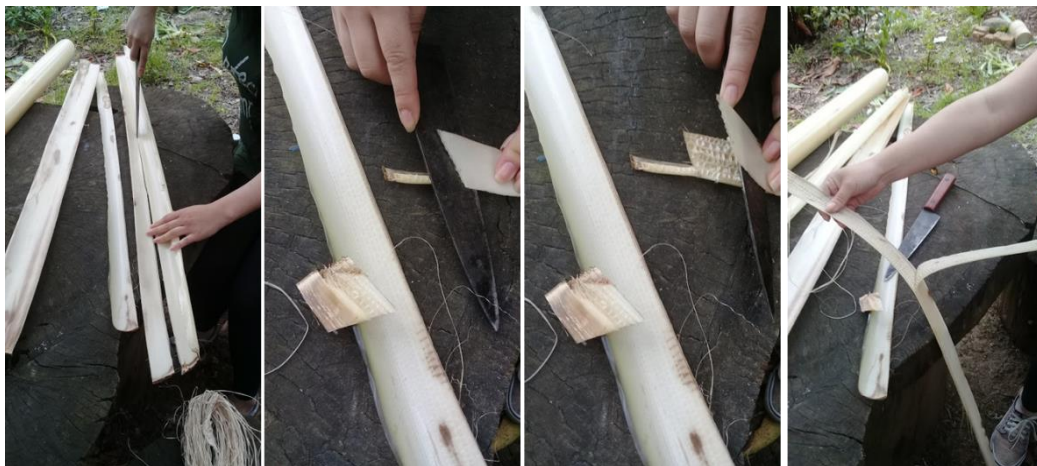


Figura 13. Separación de las capas de las vainas foliares.

Fuente: presente estudio, 2019.

En estas, se identificaron las capas que componen cada vaina foliar así: pared interna, de la que salen fibras muy débiles y desaparejas, la membrana que tiene una estructura en forma de ladrillos(rectangular), y una pared externa que es más gruesa y tiene mayor cantidad de fibras. En la figura 14 se pueden observar las 3 capas anteriormente mencionadas.

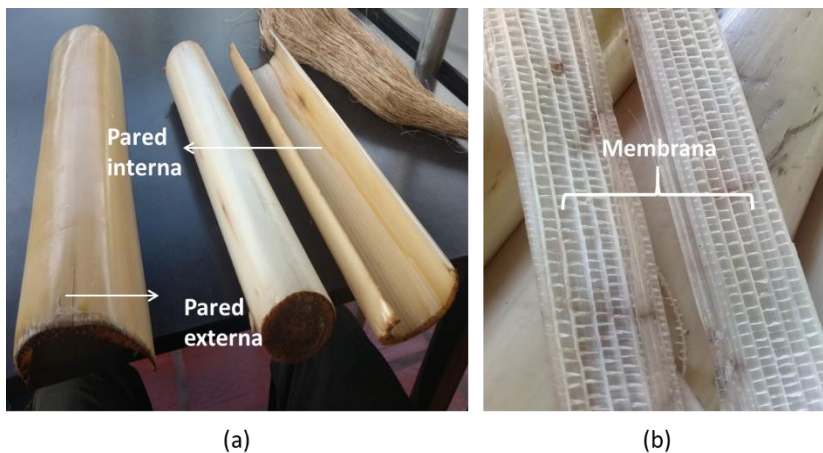


Figura 14. (a)pared interna, pared externa (b)membrana.

Fuente: presente estudio, 2019.

Luego de tener las 3 capas separadas, con la punta de un cuchillo se hacen cortes para empezar a sacar manualmente fibras delgadas a lo largo de la calceta como se ve en la figura 15.



Figura 15. Obtención de fibras por el segundo método.

Fuente: presente estudio, 2019.

En el tronco se pudieron observar fibras muy delgadas y suaves (ver figura 16). Al momento de sacar las fibras estas se reventaban y se encogían por lo que no fueron tenidas en cuenta para el desarrollo del material.



Figura 16. Fibras del tronco del pseudotallo de plátano

Fuente: presente estudio, 2019.

El problema que se presenta con este método es que la fibra no sale completa ni de grosor similar, por lo que se presenta fibras dispares, representando una labor muy dispendiosa debido a que se saca fibra por fibra ocupando de 4 a 5 horas por calceta, además de que la fibra queda con muchos residuos (ver figura 17) lo que hace que quede más gruesa.



Figura 17. Fibra obtenida por el segundo método

Fuente: presente estudio, 2019.

Probetas realizadas con norma ASTM 3039 unidireccionales.

Con la obtención de la fibra de pseudo tallo de plátano se realizaron probetas bajo la norma ASTM 3039 con las siguientes especificaciones:

Tabla 11. Dimensiones para muestras

Orientación de la fibra	Ancho en mm	Longitud en mm	Espesor en mm
0° unidireccional	15	250	1.0
90° unidireccional	25	175	2.0
Discontinuas	25	250	2.5

Fuente: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials Disponible en <http://file.yizimg.com/175706/2012061422194947.pdf>

Procedimiento. Para la elaboración de las probetas se utilizó como base listones de madera, a los cuales se les aplicó de 7 a 10 capas de desmoldante Cera Glass, con intervalos de tiempo de 10 minutos entre cada capa de encerado. Una vez pasados los 10 minutos se procedía a frotar la superficie con estopa hasta sacar brillo y formar una película. Después de tener la madera lista con el desmoldante, se coloca el molde de la probeta realizado en MDF sobre el listón de base y se coloca plastilina en los bordes del molde para hacer la pared de la probeta como se puede ver en la figura 18.

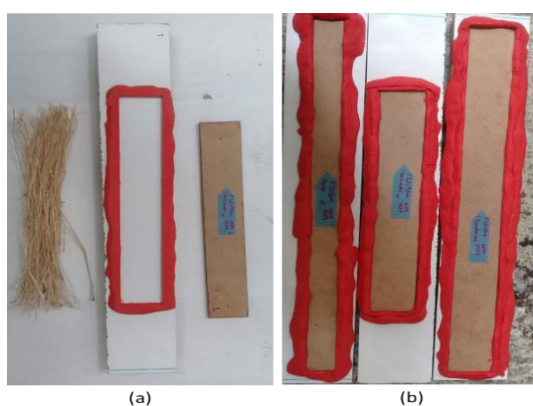


Figura 18. (a) base de madera, molde en MDF, borde en plastilina (b) moldes para los 3 tipos de probetas según norma ASTM 3039

Fuente: presente estudio, 2019.

Para la fabricación de las probetas se usó fibra de pseudo tallo de plátano y resina poliéster en relación 1:3, por proceso de moldeo manual (ver figura19). La construcción únicamente unidireccional implica un refuerzo no estructural en la dirección del agregado, por esto los anchos de los materiales son generalmente limitados debido a la dificultad de manejo de la acomodación de las fibras en estado húmedo. Cuando las fibras están alineadas, todas contribuyen al manejo de una carga longitudinal pero casi no proporcionan refuerzo a una carga transversal. Esto se pudo notar en la fabricación de la probeta 0° unidireccional, ya que al momento de colocar las fibras estas se desordenaban y se separaban generando vacíos entre las fibras. Por su parte la probeta elaborada con fibras dispersas se determina que a mayor cantidad de fibras mayor resistencia.



Figura 19. Probetas con refuerzo unidireccional y refuerzo discontinuo.

Fuente: presente estudio, 2019.

4.2.3 Tercer método

Como la aplicación del método anterior para extracción de fibra demandaba gran cantidad de tiempo (4 a 5 horas extracción de fibra por calceta), se experimento con un picador/triturador TRAPP TRF60, del laboratorio de postcosecha de la UPTC seccional Duitama, para pasar las calcetas y obtener fibra. Durante el proceso se separaron las calcetas del tronco y se cortaron con una medida aproximada de 10cm de ancho, para pasarlas a la trituradora como se muestra en la figura 20. Se observó que mientras se realizaba el proceso salía gran cantidad de agua de coloración morada procedente de las calcetas, y estas al pasar por el motor quedaban entrapadas, generando que tocara para la máquina para retirar las

fibras, limpiar el motor y volver a iniciar el proceso varias veces hasta terminar de triturar las 10 calcetas de un tallo, con una demora del proceso de 4 horas.



Figura 20. Triturado de calcetas, atrapamiento de fibras.

Fuente: presente estudio, 2019.

Después de realizado este proceso de extracción, las fibras salen cortadas en trozos y quedan apelmazadas por el mismo líquido que sueltan las calcetas durante la trituration. Por esto después se hace un lavado de las fibras para sacar el exceso de líquido morado, y se ponen a secar sobre una lona para que permitiera la circulación de aire, y como base se usó un pallet para que quedara elevado del suelo como se muestra en la figura 21.



Figura 21. Lavado y secado de las fibras.

Fuente: presente estudio, 2019.

Con este proceso se obtuvieron fibras húmedas de diferentes longitudes, pero son muy frágiles ya que al momento de manejarlas se parten fácilmente. Por esto se concluye que para este proceso lo más adecuado es triturar las calcetas que ya estén secas para que al momento de hacer el proceso sea más fácil la obtención de la fibra y estas no se entrapen en el motor provocando demoras en el proceso y posibles daños a la máquina.

Como método alternó para elaboración de fibras discontinuas se usó un “pica todo” para triturar las fibras, pero al momento de introducir las fibras largas se entrapaban en las cuchillas y solo giraban alrededor de estas.

4.2.4 Cuarto método.

Dadas las conclusiones de los métodos anteriores, se identificó que se tiene que trabajar el tallo recién cortado, haciendo la separación de calcetas para poder extraer el agua de forma manual y esperar hasta que esta se seque o evapore de la misma, ya que si no se hace de esta manera las fibras obtenidas no son de la calidad necesitada.

Para este método los tallos se seccionaron en una medida de 60 cm de longitud para tener un control de la cantidad de fibra que se podría obtener por calceta/tallo. El siguiente paso fue retirar la pared interna de la calceta para así tener un mayor control en el manejo de estas y de este modo extraer la mayor cantidad de agua junto con la membrana interna dejando de esta manera solo la pared externa que es la que contiene las fibras.

Como paso a seguir se hace un “cepillado” de la pared externa para eliminar los residuos y el porcentaje de agua restante dejando así la fibra obtenida, que posteriormente será puesta en proceso de secado.

Para este proceso se tuvieron en cuenta 2 tipos de ambiente:

Espacio abierto: para este caso las fibras recién sacadas fueron puestas a secar a temperatura ambiente en espacio abierto, sin ningún tipo de control teniendo en cuenta los cambios variables de temperatura que hubo durante el proceso (bajas temperaturas en la mañana, sol al medio día, lluvia en las tardes). Al transcurrir 24 horas de secado las fibras fueron recogidas y se hizo una revisión visual en la que se encontró que las fibras presentaban una coloración oscura debido a la formación de hongos causa de la humedad presente en las fibras y en el ambiente como se muestra en la figura 22.



Figura 22. Presencia de hongo en las fibras.

Fuente: presente estudio, 2019.

Espacio cerrado: las fibras luego de ser extraídas de la calceta, se pusieron a secar en una cuerda en una habitación cerrada durante 24 horas (ver figura 23). Debido a que en la extracción las fibras son liberadas del exceso de agua, durante el tiempo transcurrido las fibras tomaron una coloración amarilla, quedando con algunos residuos y algunas fibras unidas, por esto después de que están secas completamente se hace un cepillado quedando listas las fibras para ser trabajadas en el material compuesto.



Figura 23. Secado de fibras en espacio cerrado.

Fuente: presente estudio, 2019.

De esta manera se establece que el secado de las fibras que serán usadas durante el proceso para la elaboración del material, deberá secarse en un espacio cerrado después de ser

extraídas, para evitar la contaminación de las mismas. Logrando generar fibras limpias del largo de las calcetas y de un grosor uniforme.

En la figura 24 se puede observar la calidad del material obtenido por este método.



Figura 24. Fibra final.

En la tabla 12 se registró la producción de fibra a partir de un pseudo tallo compuesto por 12 calcetas, que representan el 71% del tallo. El 29% restante es el tronco y las calcetas externas que no son usadas, debido a que presentan daño.

Tabla 12. Peso total de fibra obtenido de un pseudo tallo.

Muestra	Tiempo de proceso		Numero de calceta	Tamaño cm	Peso gr	Fibra por tallo gr			Peso gr secado 24/horas (20°C)	Tallos		Vainas / calcetas			
	Inicio	Fin				Húmeda	Seca (18°C)	Aspecto		Color	Color	Pigmentación			
M1 Longitud: 98cm Diámetro: 11cm Peso: 3988 gr	3:18pm	6:15pm	M1	48	114	12	3:36	4	2	1-Debil 2 normal 3Robusto	1	verde			
			M2	64	161	7	3:42	2	2		2	verde			
			M3	88	318	22	4:10	8	7		medio	1	verde		
			M4	96	324	25	4:07	9	7		3	verde	agua		
			M5	87	300	20	4:29	7	6		4	verde	2 verde	1Rosado	
			M6	87	293	26	4:26	8	7		5	verde	oscuro	claro	malva
			M7	87	273	24	5:09	7	6		6	rojizo	3verde	4crema	2 rojo
			M8	89	304	33	5:08	2	10		7	rojo	4crema	5rosado	3 morado
			M9	94	287	33	5:38	15	11		8	rojo	6rojo	7morado	4 otro
			M10	84	241	19	5:44	7	5		9	violáceo	7morado	8 otro	
			M11	64	150	20	6:14	6	4		9	azul	8 otro		
			M12	73	106	18	6:04	6	4		9	quimérico	10 otro		
Total	3 horas			98 cm	2871gr	259gr	81gr	71gr							

Fuente: presente estudio, 2019.

Como resultado se obtuvieron 71 gramos de fibra seca, que fueron usados en la fabricación de los tejidos para la elaboración del material compuesto.

Concluyendo así que por este método se obtiene materia prima de mejor calidad y en mayor volumen que en los métodos mencionados anteriormente, reduciendo el tiempo empleado para la extracción de la fibra por calceta en un 97%, quedando un promedio de tiempo de 3 a 7 minutos.

4.2.5 Quinto método

Para este método se propuso usar la pared exterior para obtener cintas. Estas fueron elaboradas con la pared externa de las dos primeras calcetas de los tallos dado que estas presentan una pigmentación más notoria al momento del proceso de secado.

El siguiente paso fue retirar la pared interna de la calceta para así tener un mayor control en el manejo de estas y de este modo extraer la mayor cantidad de agua junto con la membrana interna dejando de esta manera solo la pared externa, evitando retirar la película que aglutina las fibras la cual será encargada de mantener la forma de las cintas (ver figura 25).



Figura 25. (a) alistamiento de la pared externa, (b) secado, (c) corte de cintas

Fuente: presente estudio, 2019.

4.3 Entrelazado de fibra para generación de tejidos

Para la elaboración de los entrelazados se tuvieron en cuenta la orientación biaxial ($0^\circ, 90^\circ$) y doble sentido ($+45^\circ, -45^\circ$), de las fibras para telas tejidas.

Primer entrelazado El primer entrelazado se realizó con fibras de orientación biaxial de manera manual en un telar elaborado con madera y tachuelas, fijando la urdimbre (sección longitudinal) cuyas unidades se llaman hilos; luego se hace la trama (sección transversal), sus unidades se denominan pasadas. La forma en que estas unidades se entrelazan se califica como ligamento.

Para la elaboración de la urdimbre y la trama se usaron pocos hilos por lo que el tejido quedó pequeño. Las medidas de este tejido fueron de 10cm x 3cm, y el espesor de cada trama y urdimbre era de 1mm a 1,5mm aproximadamente. (ver figura 26). Debido a esto el tejido se elaboró en un tiempo aproximado de 2 horas y debido a que eran muy delgados los hilos la labor se hacía dispendiosa, además que los espacios entre la trama eran muy amplios.

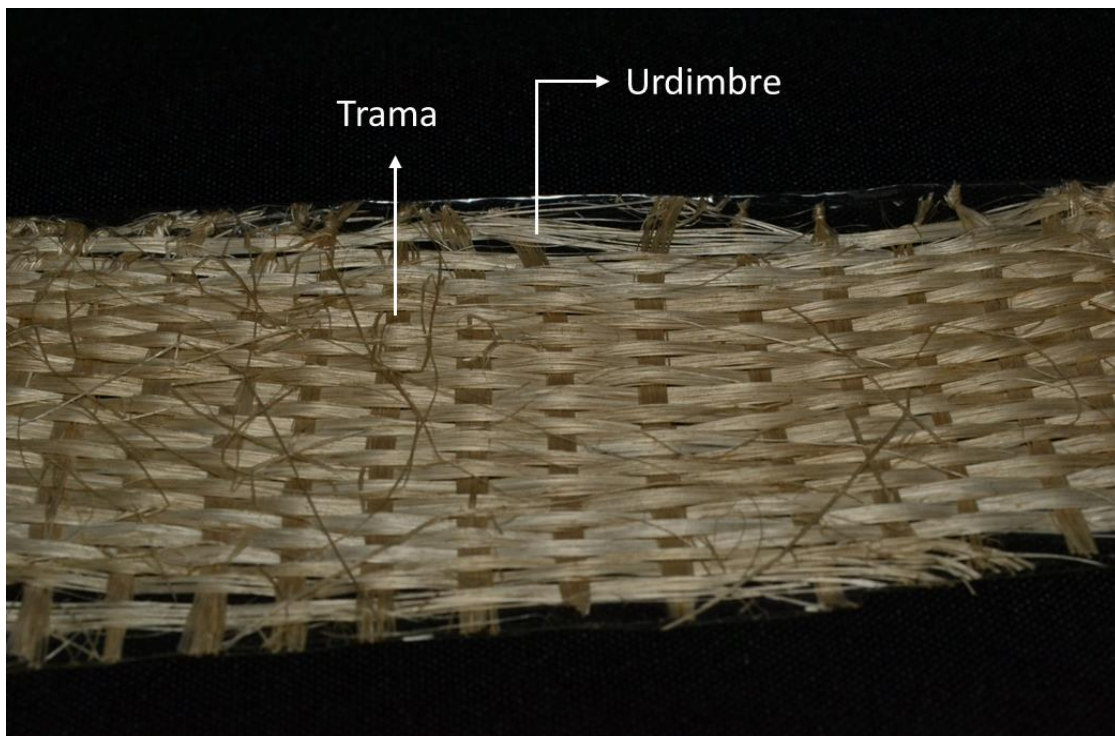


Figura 26. Primer tejido realizado

Fuente: presente estudio, 2019.

Segundo entrelazado Este tejido fue elaborado en el mismo telar, pero con mayor número de hilos que el entrelazado anterior, dándole mayor importancia a la trama para tratar de disminuir los vacíos entre esta como se aprecia en la figura 27. De esta manera se

genera un entrelazado más regular, pero con algunos espacios entre los ligamentos. Debido a que se sigue trabajando con muy poca cantidad de fibra la producción del tejido demanda aproximadamente la misma cantidad de tiempo que el tejido anterior.

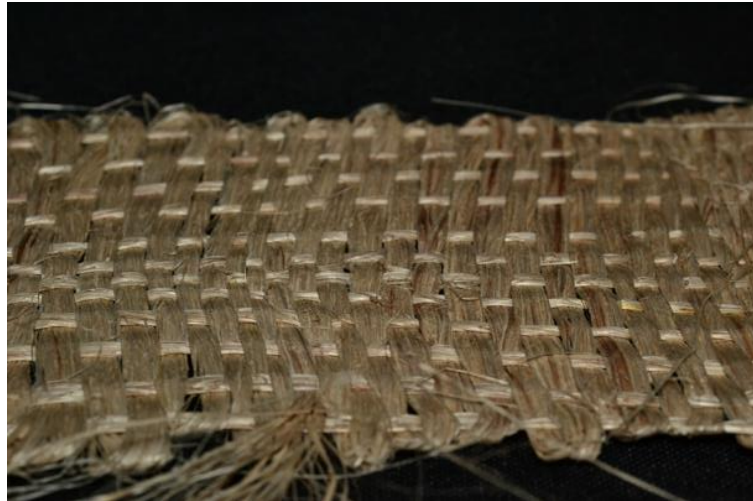


Figura 27. Ampliación de la trama.

Fuente: presente estudio, 2019.

Este tejido se elaboró con las medidas de 26cm x 6cm, el grosor de la urdimbre estuvo entre 1mm y 2mm, mientras que el grosor de la trama fue de 2mm a 4mm aproximadamente.

Trenzados, cabuyas y lazos Debido a que en la elaboración de los entrelazados de los tejidos anteriormente mencionados demandaban mucho tiempo y al trabajar las fibras se desordenaban y no se usaba la misma cantidad para la urdimbre y la trama, se quiso experimentar unificando las fibras a través de trenzas, cabuyas y lazos.

Trenzas: para la elaboración de las trenzas se cogían 3 manojos de fibra y se entrecruzaban (ver figura 28). El problema que se presentó para la elaboración de estas fue que los manojos no eran similares en cuanto al grosor y al momento de hacerlas tocaba hacerlas despacio para ir ajustando las fibras sin apretarlas demasiado para que no se quebraran, lo que representará un gran gasto de tiempo.



Figura 28. Elaboración de trenzas.

Fuente: presente estudio, 2019.

Cabuyas: debido a que se quería unificar el grosor de las fibras usadas para la fabricación de los tejidos se experimentó con la elaboración de cabuyas. Para esto se hizo una indagación en la ciudad de Duitama de artesanos que trabajaran la técnica de torcer cabuyas para aprender y hacer la aplicación en el proyecto. Se hizo una búsqueda de personas que trabajaran lana para ver si se podría hilar la fibra de pseudo tallo de plátano, con ayuda de un huso. Esto dio respuesta negativa por parte de 2 de ellos debido a que, al momento de hacer el ejercicio, la Fibra se soltaba entre ella y no se torcía, además que expresaron que por el grosor de la fibra ellos no conocían una manera de trabajarla, decidiendo así que esa técnica no sería usada. Como paso a seguir se buscaron artesanos que trabajaran con el fique, ya que es la fibra con mayor similitud. Luego de hacer la identificación de dos de ellos, no fueron encontrados en sus lugares de residencia, por lo que se desistió de la búsqueda de más personas que conocieran la técnica de hilar o torcer hilos o cabuyas.

A manera de solución para generar cabuyas se hicieron dos tarabas (herramienta manual para torcer fibras), con madera y puntillas como se ve en la figura 29.



Figura 29. Tarabas.

Fuente: presente estudio, 2019.

Para la generación de las cabuyas, se colocan un manajo de fibra sujeto a la taraba y se dividía en dos secciones y luego está se hacía girar con ayuda de la puntilla. Para esto se necesita que dos personas realicen el proceso: una sostiene y hace girar la taraba y la otra sostiene los dos extremos de las hebras separadas, y estos se iban juntando a medida que se tuerce la cabuya (ver figura 30).



Figura 30. Formación de cabuya

Fuente: presente estudio, 2019.

Con la fabricación de cabuyas, se hizo un tercer tejido biaxial como se observa en la figura 31. Las ventajas que presenta la producción de cabuyas se ven representadas en la similitud de grosor y el aumento de la resistencia de las fibras. Por otra parte, como desventajas presenta la demora en su elaboración y que al ser tan angostas tienen menor área de cobertura para ser aplicadas en la fabricación del material.



Figura 31. Tejido biaxial con cabuyas.

Fuente: presente estudio, 2019.

El grosor de las cabuyas para este tejido fue de 2mm a 3mm aproximadamente, con una longitud de 24cm.

Lazos: debido a que las cabuyas son tan delgadas, se propone la formación de lazos a partir de la unión de varias cabuyas con ayuda de la taraba. Para esto se empezó a hacer una cabuya y antes de que se termine de torcer, se le añade otro manojo de hebras y se sigue torciendo. Así se hace sucesivamente hasta llegar al largo deseado. Luego la cabuya resultante se dobla por la mitad, colocándola en una taraba y los extremos en la otra, haciéndolas girar en sentido contrario para que se entrelacen y se forme el lazo (ver figura 32).



Figura 32. Producción de lazos.

Fuente: presente estudio, 2019.

Se generaron 3 lazos de 3, 5 y 6 metros de largo, con los que se probó hacer tejido. Pero debido a que los manojos usados para la elaboración de cabuyas contenían muchas hebras, hizo que los lazos quedaran muy gruesos. Por tanto, al entrecruzarlos quedaban muy separados los ligamentos.

Por esto se concluyó que la aplicación de los lazos en la fabricación de tejidos no se tuvo en cuenta, por lo que se regresó a la idea inicial de tejidos solamente con fibra suelta.

Entrelazado final Para la elaboración de los tejidos se estableció que debían cubrir un área de 25cm x 35cm. Así pues, se hicieron 3 tejidos biaxiales con fibras, 1 tejido biaxial con cintas y un tejido de doble sentido con fibras como se ve en la figura 33





Figura 33. Elaboración de tejidos para producción del material compuesto.

Fuente: presente estudio, 2019.

Para el tejido de cintas se observó que, al hacer el entrelazado con las calcetas húmedas, estas se iban encogiendo generando vacíos entre los ligamentos, por esto lo más adecuado es dejar la pared externa secando para luego sacar las fibras y que ya queden con las dimensiones reales.

Para evitar que el tejido de cintas se curvara se les aplico peso como se ve en la figura 34.



Figura 34. Pesas de metal sobre tejido de cintas.

Fuente: presente estudio, 2019.

4.4 Elaboración de probetas

Para la elaboración del material compuesto se usó resina poliéster debido a que son de bajo costo y las propiedades físicas del curado satisfacen las necesidades del material planteado.

Las resinas poliméricas de poliéster pueden formular con un contenido de estireno alrededor de 34% a 45%, tiene como propósito reaccionar el polímero central en un sistema de resina durante la polimerización y reducir la viscosidad del polímero actuando como diluyente para proporcionar un producto líquido manejable.

Adicionalmente se utilizó un iniciador (catalizador) que es el que provoca la reacción química pero no forma parte del producto de la reacción en este caso de polimerización con resina poliéster el iniciador se destruye durante la reacción. Los curados a temperatura ambiente con iniciadores comunes requieren la adición de un promotor a la fórmula de la resina. El peróxido de Metil Etil Cetona (MEK) es el iniciador, que se usa en cantidades que giran alrededor del 1.25% a 3% del peso.

El promotor usado con el MEK es Octoato de Cobalto (CoNap) que se agrega a la resina para interactuar con el iniciador y producir un tiempo de menor de curado. En la figura 35 se pueden observar los materiales mencionados anteriormente.

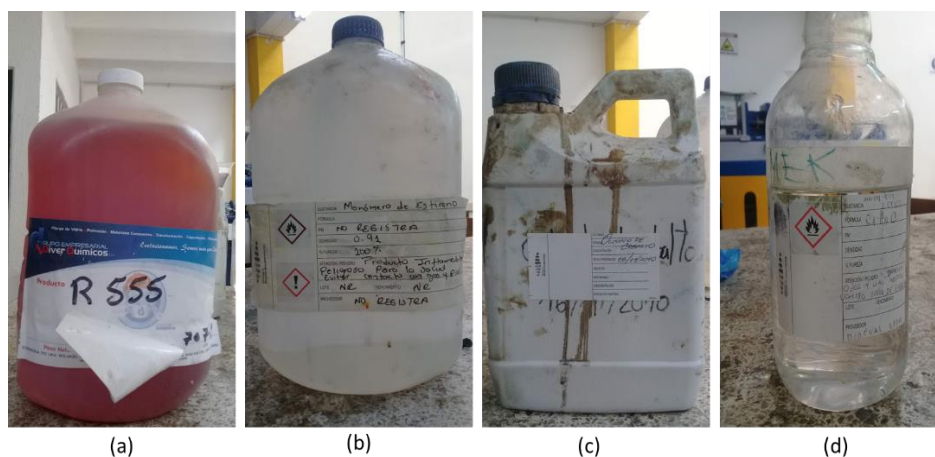


Figura 35. (a)Resina poliéster, (b) Monómero de estireno, (c)Octoato de cobalto, (d) MEK

Fuente: presente estudio, 2019.

Para la elaboración de las probetas se utilizó como base del molde, un vidrio el cual fue encerado con Cera Glass haciendo una aplicación de 7 capas del mismo con intervalos de tiempo de 8 minutos entre capa y capa. Luego se colocaron los tejidos sobre el vidrio y se hizo una pared con plastilina para hacer la delimitación de las probetas como se muestra en la figura 36; se preparó la resina en una proporción 1:3, tejidos respecto a la resina, cabe

resaltar que esta proporción se da teniendo en cuenta el volumen de los tejidos mas no el peso.



Figura 36. Preparación de las probetas

Fuente: presente estudio, 2019.

Para la fabricación de las probetas se aplicó la primera capa sobre la base (vidrio), para generar una capa de adherencia y posteriormente colocar el tejido. Con ayuda de un rodillo se eliminan las burbujas de aire presentes en la primera capa. Luego se aplica otra capa de resina sobre el material para embeberlo y de nuevo se procede a pasar el rodillo. Se dejan pasar unos minutos y se coloca la última capa de resina para de este modo dejarla curando el tiempo necesario. se fabricó un horno con una instalación eléctrica para mantener una temperatura constante y lograr así un buen curado (ver figura 37).



Figura 37. Probetas en proceso de curado.

Fuente: presente estudio, 2019.

Pasadas 12 horas se retiraron las probetas del horno, verificando que el proceso de curado haya sido eficiente y proceder a desmoldarlas del vidrio, y posteriormente mecanizarlas con ayuda de un molde en MDF con las dimensiones de 25 mm de ancho por 175 mm de alto para sacar las probetas en base a la norma ASTM 3039 para materiales compuestos, como se observa en la figura 38.



Figura 38. Probetas norma ASTM 3039

Fuente: presente estudio, 2019.

Debido a que de cada tejido salieron 3 probetas se procedió a hacer una codificación de la siguiente manera:

P: probeta

Numero de tejido: 1, 2, 3, 4, 5.

Asignación: A, B, C.

De esta manera se componen los nombres para cada grupo de probetas así:

P1: tejido doble sentido 45°.

P2, P3 y P5: tejido biaxial 0° - 90° con diferentes volúmenes de fibra en la urdimbre y trama.

P4: tejido cruzado con cintas

Quedando como resultado la codificación de las probetas de la siguiente manera:

P1A, P1B Y P1C

P2A, P2B Y P2C

P3A, P3B Y P3C

P4A, P4B Y P4C

P5A Y P5B.

De este modo las probetas P1A, P2A, P3A, P4A y P5A, se utilizarán en el ensayo de compresión y las probetas restantes, en el ensayo de flexión.

4.5 Pruebas mecánicas

Con el fin de determinar las propiedades mecánicas del material compuesto, teniendo en cuenta la disposición de las fibras y el tipo de matriz polimérica, se realizaron las pruebas mecánicas de flexión y compresión, utilizando una Prensa de Compresión Incofinada, que es un equipo diseñado para aplicar cargas manualmente, mediante una biela acoplada a un dispositivo de engranajes situados en la base, utilizada en el laboratorio de suelos de la escuela de Ingeniería Civil de la UPTC sede central.

La primera prueba que se realizó fue la de flexión aplicada a dos probetas por tejido y tres pruebas de compresión aplicadas a la probeta restante, a la cual se le modificaron sus dimensiones.

Pruebas de flexión

Para determinar el esfuerzo se tuvo en cuenta la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Fuente:

https://www.researchgate.net/profile/Yashwant_Munde/post/ASTM_choice_for_Flexural_testing_of_polymer_matrix_composite/attachment/59d6269f6cda7b8083a23684/AS%3A505496109305856%401497531072076/download/ASTM+D7264++Flexural+Comp.pdf

Dónde:

σ : tensión a la superficie exterior a mitad del tramo

P: fuerza aplicada

L: tramo de apoyo

b: ancho de la probeta

h: espesor



Figura 39. Prensa de Compresión Inconfinada, Pruebas de flexión

Fuente: presente estudio, 2019.

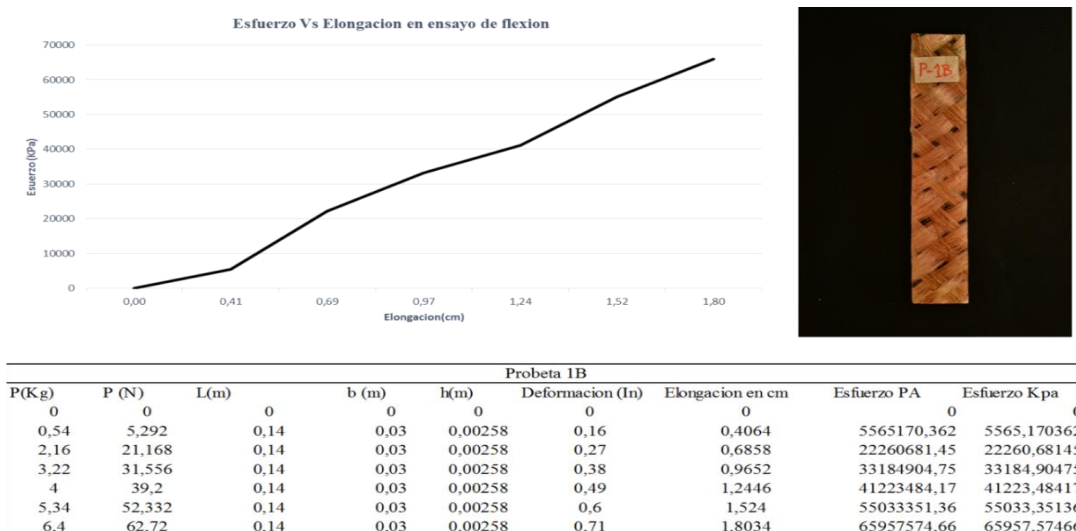


Figura 40. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P1B

Fuente: presente estudio, 2019.

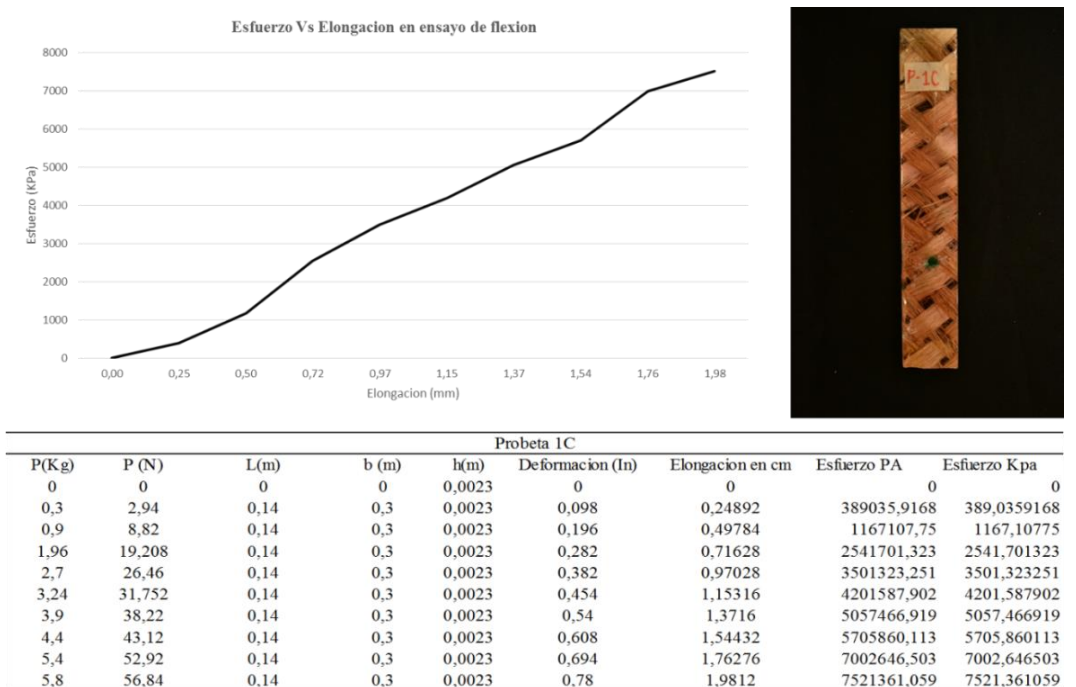


Figura 41. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P1C

Fuente: presente estudio, 2019.

Dados los resultados de las probetas 1B y 1C se obtuvo un promedio de elongación de 1,89 cm, con un promedio de carga de 6,1 kg, lo cual permitió identificar que el tejido doble sentido aumenta la resistencia a la flexión.

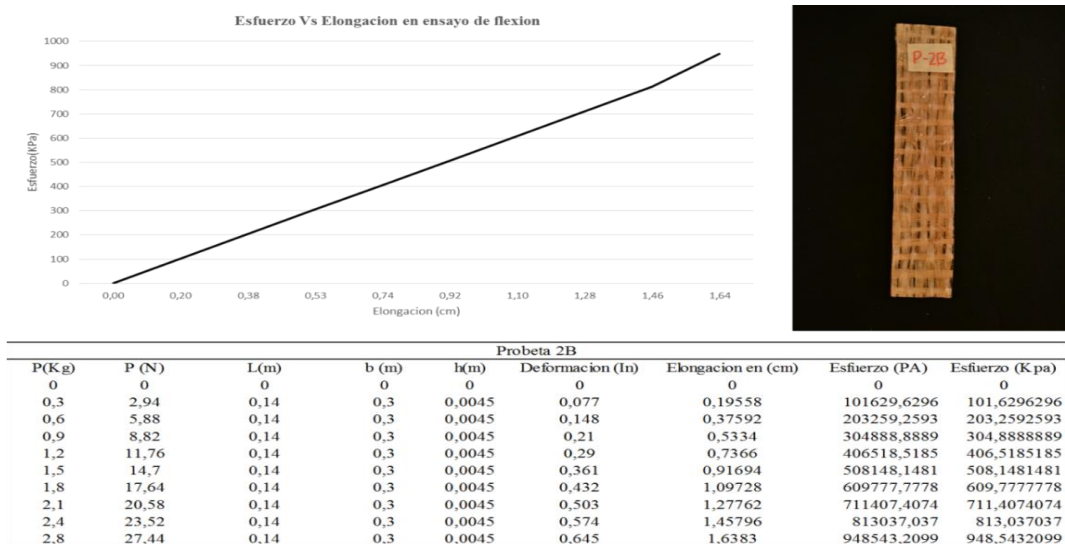


Figura 42. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P2B

Fuente: presente estudio, 2019.

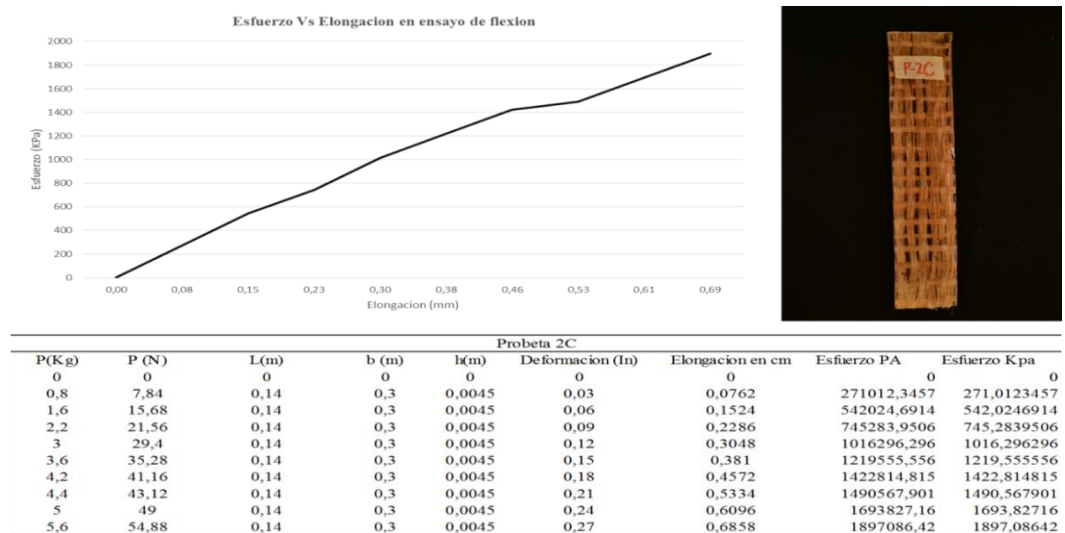


Figura 43. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P2C

Fuente: presente estudio, 2019.

Se evidencia una elongación promedio de 1,15cm con una carga promedio de 4,2 kg, soportando 1,9 kg menos que las probetas P1B y P1C debido a la disposición del tejido y a los vacíos presentes entre ligamentos.

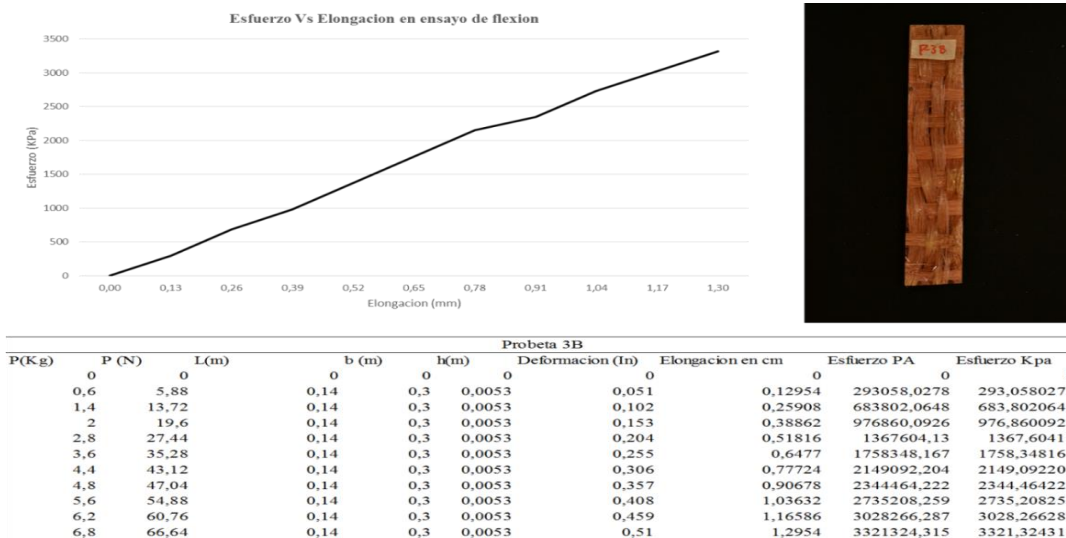


Figura 44. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P3B

Fuente: presente estudio, 2019.

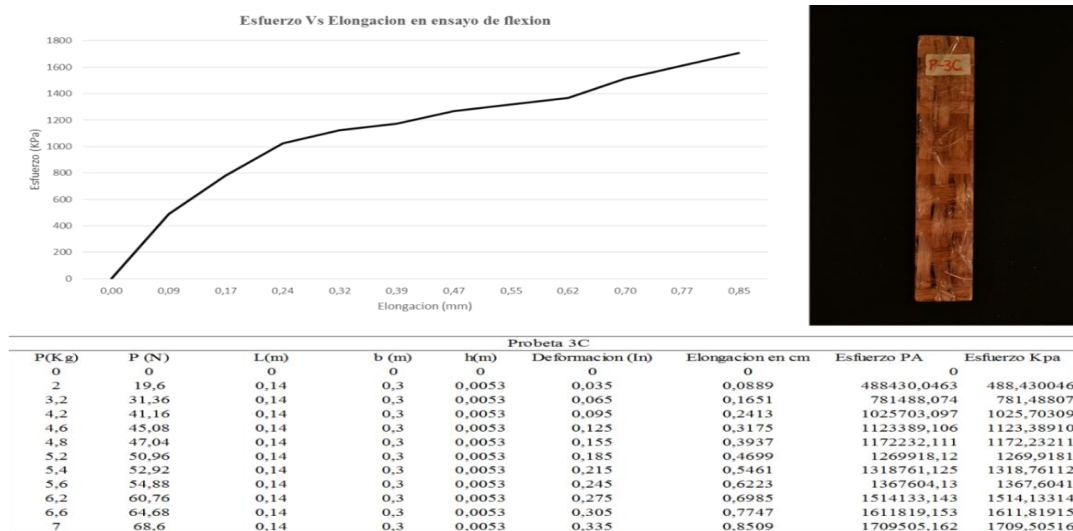


Figura 45. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P3C

Fuente: presente estudio, 2019.

En las probetas P3B y P3C se presenta menor flexión que en las probetas anteriores, con una elongación promedio de 1,07 cm, pero la carga soportada fue mayor con un promedio de 6,9 Kg, debido a la cantidad de fibra dispuesta en la urdimbre y trama del tejido, y que no se presentan muchos vacíos entre los ligamentos.

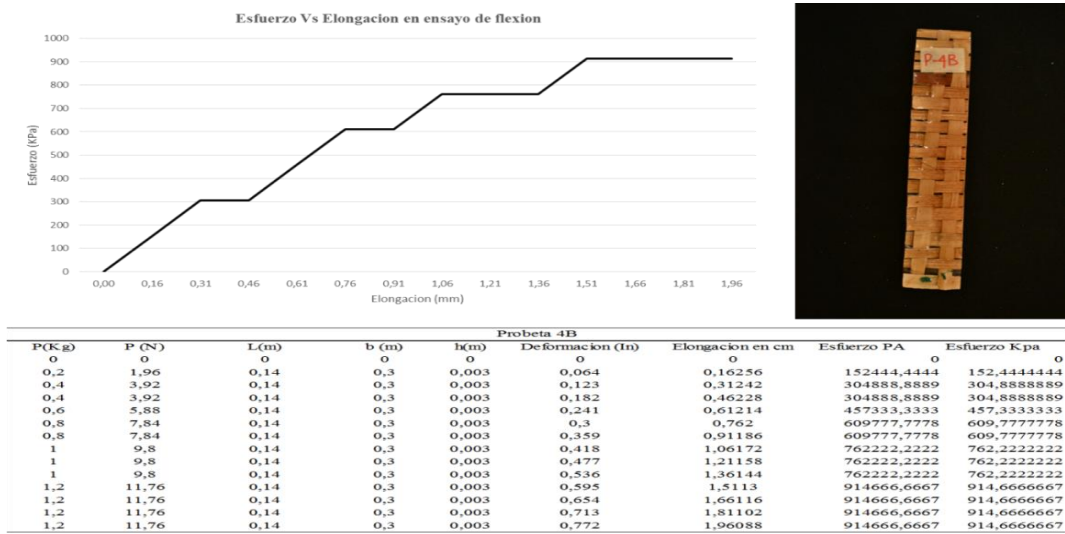


Figura 46. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P4B

Fuente: presente estudio, 2019.

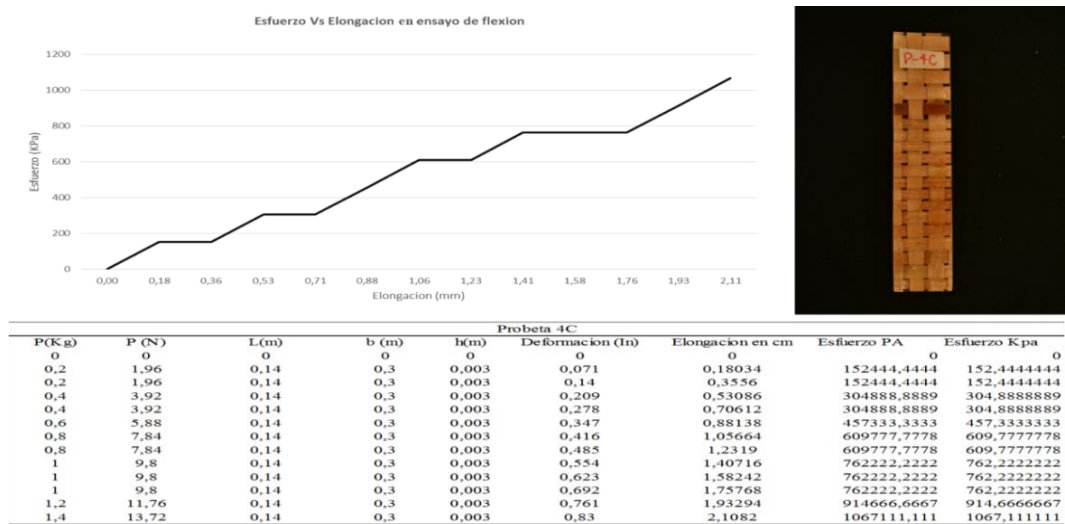


Figura 47. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P4C

Fuente: presente estudio, 2019.

Las probetas P4B y P4C elaboradas con tejidos de cinta se deformaron a medida que se aplica la carga, con un promedio de 1,3 Kg, con un promedio de elongación de 4,8 cm, por lo que se evidencio que estos tejidos a pesar de soportar menor carga presentaron una mayor elongación mejorando las cualidades del material.

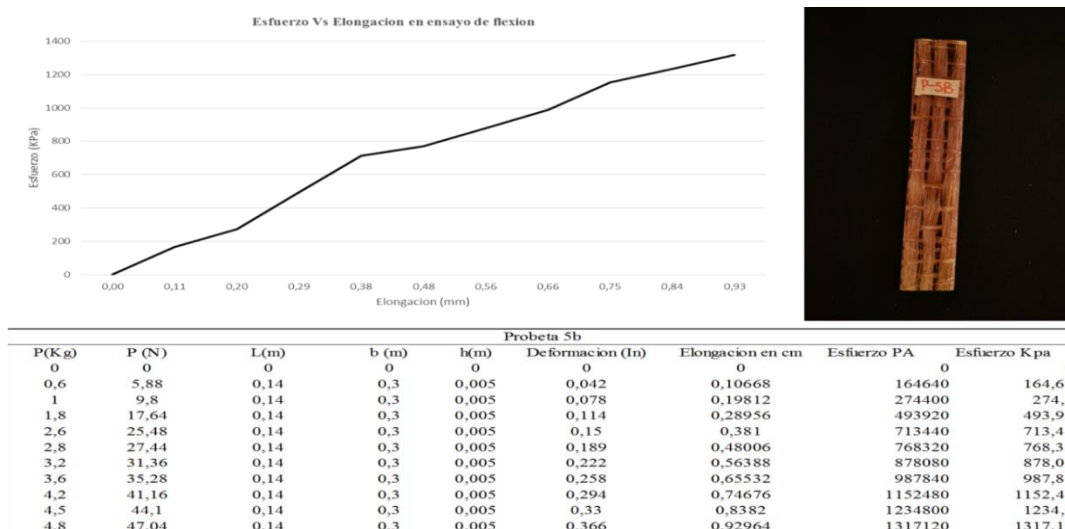


Figura 48. Ensayo de flexión aplicado a la probeta P5B

Fuente: presente estudio, 2019.

En la probeta P5B se utilizó un tejido biaxial con mayor cantidad de fibras en la urdimbre soportando una carga de 4,8 Kg y una elongación de 0,92cm.

Conclusión: las probetas elaboradas con tejidos de cintas le otorgan mayor flexibilidad al material, por lo cual fueron seleccionadas para la aplicación en las capas externas de la teja como producto final, además de mejorar las características estéticas debido a la uniformidad de las cintas.

Por su parte las probetas P3 elaboradas con tejidos de fibras soportaron una mayor carga (6,9Kg) por lo que fueron seleccionadas para desarrollar la parte estructural de la teja (capa interna).

4.6 Pruebas de compresión

Para realizar estas pruebas fue necesario cortar las probetas en secciones mas pequeñas con las siguientes dimensiones:

h: ancho de la probeta inicial (30mm)

a: 2 veces el espesor de la probeta

b: espesor de la probeta

para determinar el esfuerzo se tuvo en cuenta la siguiente formula:

$$\sigma_i^c = P_i/A$$

Donde:

σ_i^c : tension de compresion

P_i : fuerza

A: area de la seccion transversal <http://file.yizimg.com/175706/2012061611582205.pdf>



Figura 49. Pruebas de compresión

Fuente: presente estudio, 2019.

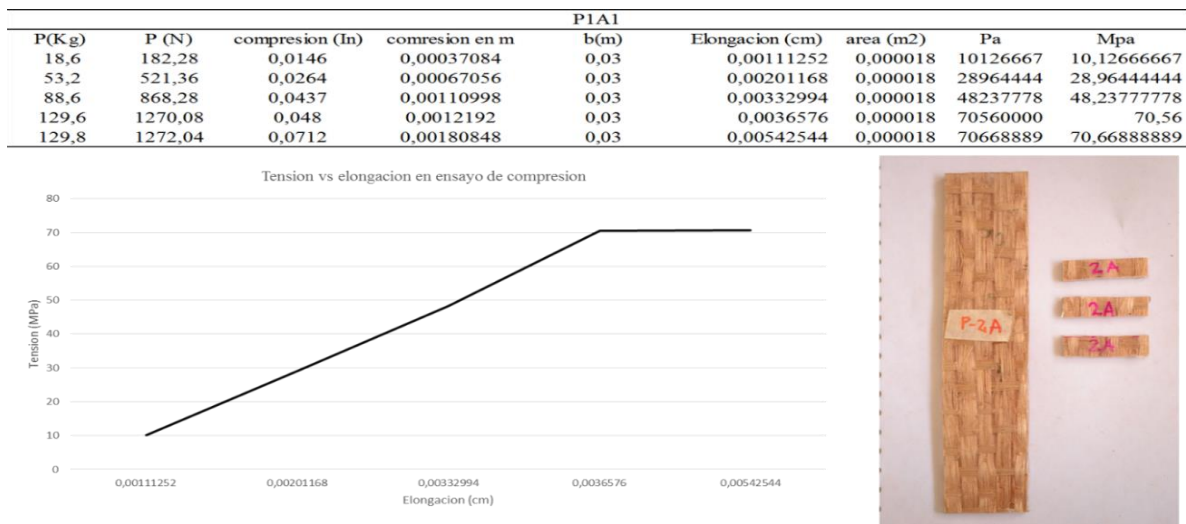


Figura 50. Ensayo de compresión probeta P2A1

Fuente, presente estudio, 2019

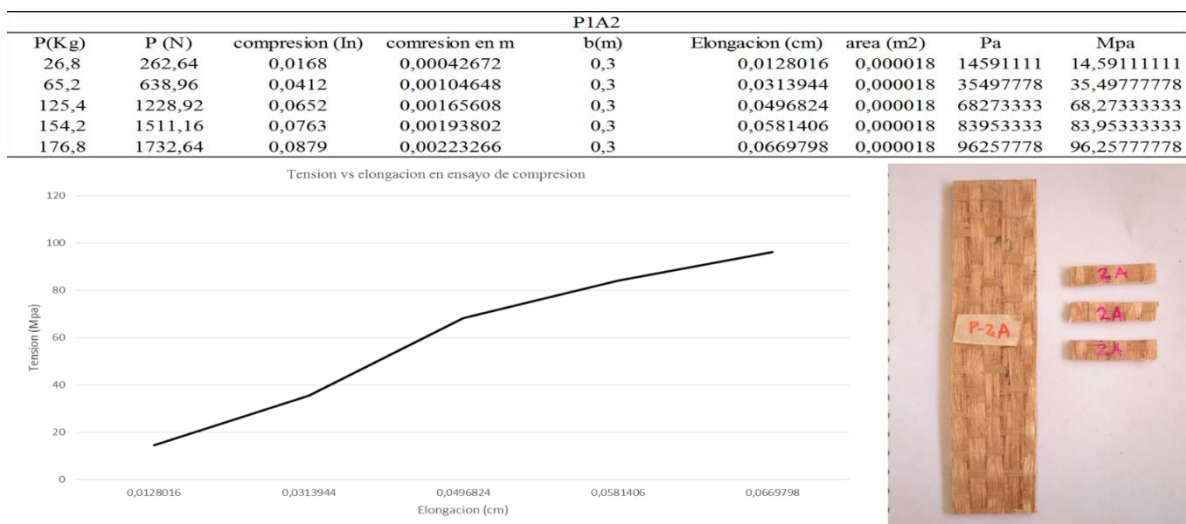


Figura 51. Ensayo de compresión probeta P2A2

Fuente, presente estudio, 2019

Las probetas sometidas a compresión con este tejido biaxial soportaron un promedio de carga de 153,3 kg hasta el momento de fracturarse.

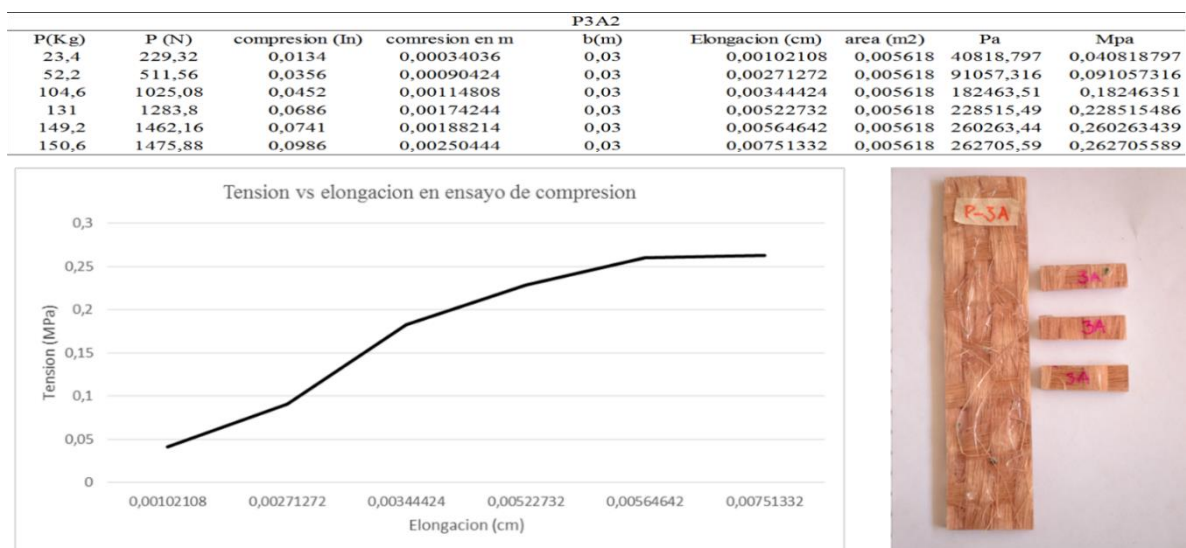


Figura 52. Ensayo de compresión probeta P3A2

Fuente, presente estudio, 2019

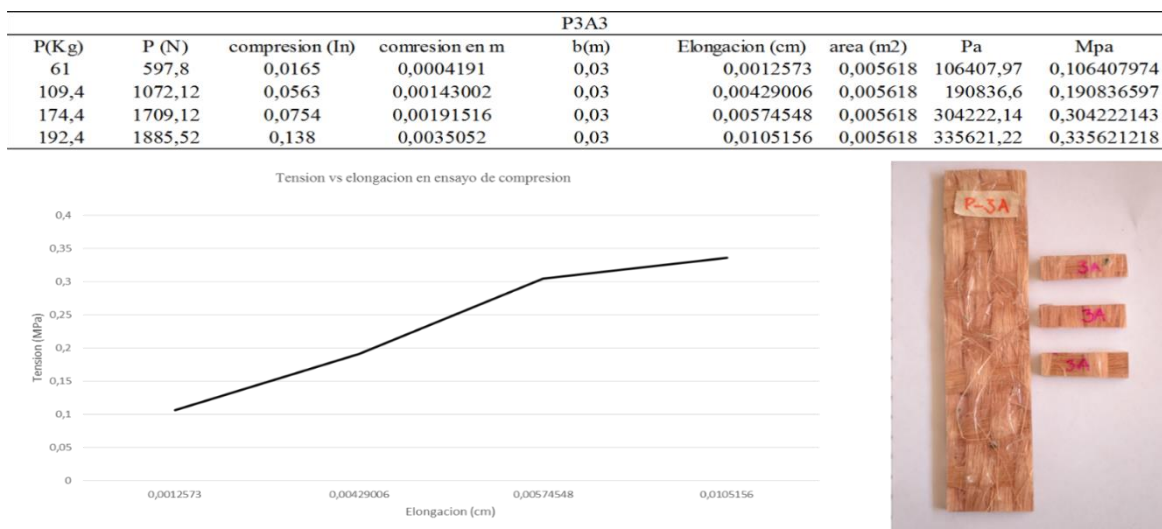


Figura 53. Ensayo de compresión probeta P3A3

Fuente, presente estudio, 2019

Las probetas P3A2 y P3A3 soportaron una carga promedio de 171,5 kg después de ser sometidas al ensayo de compresión.

P4A1								
P(Kg)	P (N)	compresion (In)	compresion en m	b(m)	Elongacion (cm)	area (m2)	Pa	Mpa
14,2	139,16	0,0156	0,00039624	0,03	0,00118872	0,000018	7731111,1	7,731111111
31,6	309,68	0,0245	0,0006223	0,03	0,0018669	0,000018	17204444	17,20444444
34,2	335,16	0,0482	0,00122428	0,03	0,00367284	0,000018	18620000	18,62
35,2	344,96	0,0568	0,00144272	0,03	0,00432816	0,000018	19164444	19,16444444

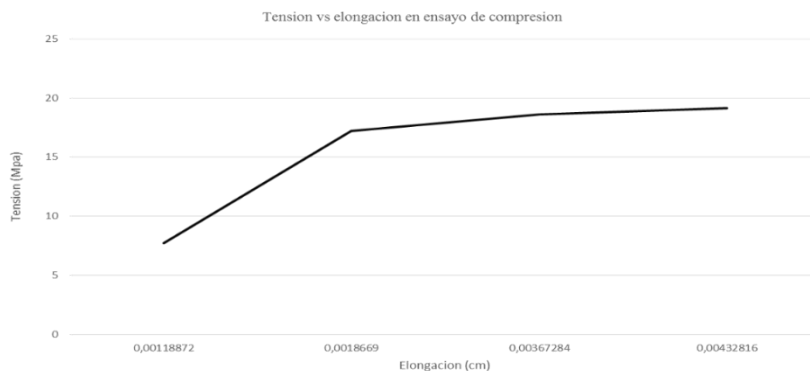


Figura 54. Ensayo de compresión probeta P4A1

Fuente, presente estudio, 2019

P4A3								
P(Kg)	P (N)	compresion (In)	compresion en m	b(m)	Elongacion (cm)	area (m2)	Pa	Mpa
8,4	82,32	0,013	0,0003302	0,03	0,0009906	0,000018	4573333,3	4,573333333
20,6	201,88	0,0269	0,00068326	0,03	0,00204978	0,000018	11215556	11,21555556
36,8	360,64	0,0411	0,00104394	0,03	0,00313182	0,000018	20035556	20,03555556
37,6	368,48	0,0487	0,00123698	0,03	0,00371094	0,000018	20471111	20,47111111

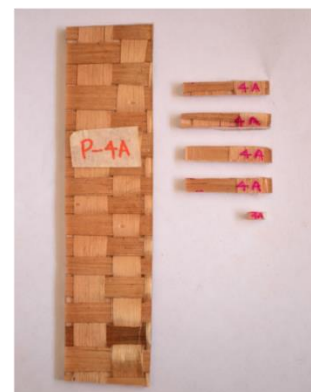
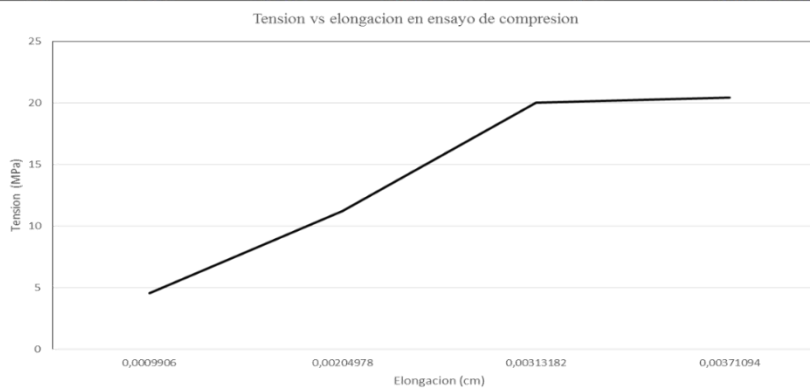


Figura 55 Ensayo de compresión probeta P4A3

Fuente, presente estudio, 2019

Las probetas P4A1 y P4A3, que son de tejidos elaborados en cinta soportaron una carga 36,4 kg, siendo las que menos soportaron carga durante los ensayos de compresión.

P5A2								
P(Kg)	P (N)	compresion (In)	compresion en m	b(m)	Elongacion (cm)	area (m2)	Pa	Mpa
3	29,4	0,0158	0,00040132	0,3	0,0120396	0,00005	588000	0,588
14,6	143,08	0,0285	0,0007239	0,3	0,021717	0,00005	2861600	2,8616
36	352,8	0,0348	0,00088392	0,3	0,0265176	0,00005	7056000	7,056
69	676,2	0,062	0,0015748	0,3	0,047244	0,00005	13524000	13,524
77,2	756,56	0,076	0,0019304	0,3	0,057912	0,00005	15131200	15,1312

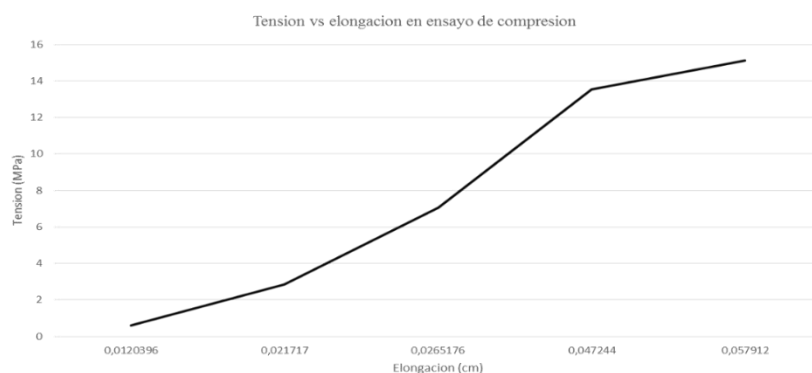


Figura 56. Ensayo de compresión probeta P5A 2

Fuente, presente estudio, 2019

P5A3								
P(Kg)	P (N)	compresion (In)	compresion en m	b(m)	Elongacion (cm)	area (m2)	Pa	Mpa
14,8	145,04	0,0135	0,0003429	0,03	0,0010287	0,00005	2900800	2,9008
34,4	337,12	0,032	0,0008128	0,03	0,0024384	0,00005	6742400	6,7424
55,6	544,88	0,051	0,0012954	0,03	0,0038862	0,00005	10897600	10,8976
59,6	584,08	0,0573	0,00145542	0,03	0,00436626	0,00005	11681600	11,6816

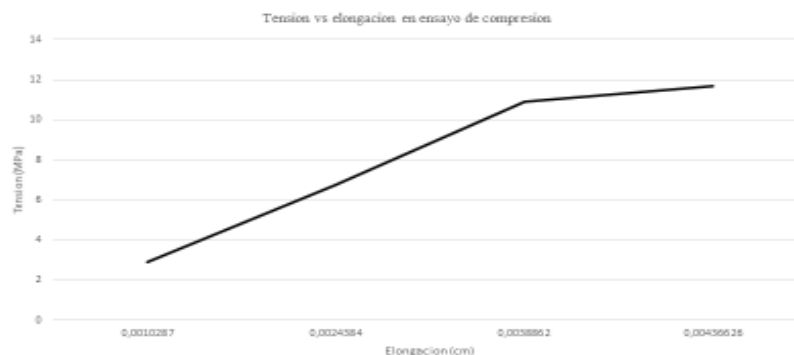


Figura 57. Ensayo de compresión probeta P5A3

Fuente, presente estudio, 2019

Las probetas P5A2 y P5A3 con tejido biaxial, y menor fibra en la trama soportaron una carga promedio de 68,4 kg, soportando más que las probetas elaboradas con cintas.

Conclusión: para el caso de las pruebas de compresión, las probetas P4A1 y P4A3, elaboradas con tejido de cintas, soportaron menos carga (36,4kg) comparadas con las probetas P3A2 y P3A3 elaboradas con tejidos de fibras, que soportaron una carga de 171,5kg.

La prueba de compresión se desarrollo con la finalidad de estudiar el material, con posibilidad de darle otras aplicaciones, por ejemplo, estructuras sometidas a dicho esfuerzo.

En las tablas 13 y 14 se muestran los promedios de elongación y carga de las pruebas de flexión y compresión, de las probetas que fueron sometidas a dichos esfuerzos.

Tabla 13. Promedio de resultados pruebas de flexión

PROBETAS		Elongación	Carga
P1B	P1C	1,89cm	6,1kg
P2B	P2C	1,15cm	4,2kg
P3B	P3C	1,07cm	6,9kg
P4B	P4C	2,03cm	1,3kg
P5B		0,92cm	0,92kg

Tabla 14. Promedio de resultados pruebas de compresión

PROBETAS		Elongación	Carga
P2A1	P2A2	0,036cm	153,3kg
P3A2	P3A3	0,009cm	171,5kg
P4A1	P4A3	0,004cm	36,4kg
P5A2	P5A3	0,315cm	68,4kg

Dados los resultados anteriores se decidió usar para el producto final el tejido cruzado de cintas P4, por su flexibilidad, y el tejido biaxial con mayor volumen de fibras en el tejido P3, evitando dejar vacíos entre ligamentos para que no queden llenos de resina y se puedan fracturar.

Por esto se hace la recomendación de trabajar tejidos planos logrando la mayor uniformidad entre estos.

4.7 Pruebas en microscopio

Después de realizadas las pruebas de flexión y compresión, se hizo una revisión de las probetas a través de un Microscopio Óptico Meiji, (ver figura 58), donde se pudo observar

que las fibras de pseudotallo de plátano no quedan totalmente impregnadas en resina, lo que genera que, al momento de realizar las pruebas mecánicas, la carga se distribuya de manera independiente en la matriz y el refuerzo del nuevo material.

El material no queda homogéneo, por lo que se recomienda tener mayor cuidado al momento de hacer la impregnación del refuerzo con la matriz.

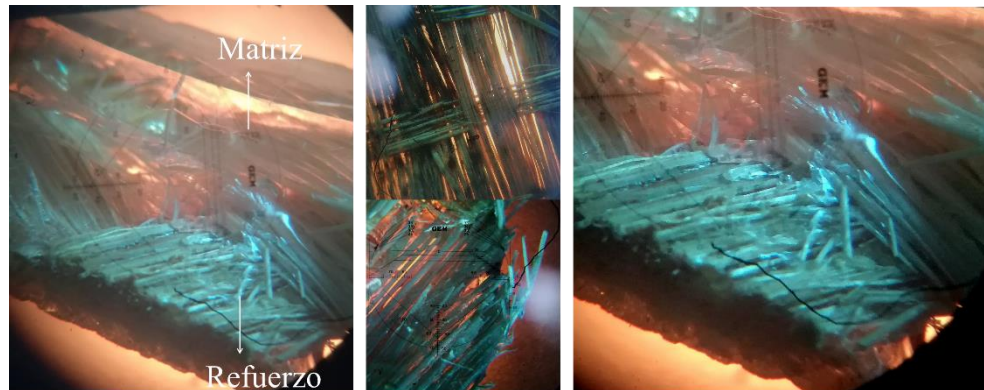


Figura 58. Material compuesto visto desde Microscopio Óptico

4.8 Aplicación software Ces EduPack

Como ayuda tecnológica para el desarrollo del proyecto, se utilizó el software, analizando las desventajas detectadas y evaluadas del material en el cual están hechas las tejas artesanales (arcilla cocida) tales como fragilidad, peso, volumen, permeabilidad, aislamiento térmico, se decidió utilizar el software Ces EduPack como herramienta tecnológica y fundamental con el fin de comparar las propiedades del material con las cuales está elaborado el producto (tejas) comparándolo con otros materiales, lo cual generó la posibilidad de seleccionar un material sustituto con similares o mejores propiedades.

Mediante la consulta realizadas en las bases de datos que posee el software y las gráficas generadas, se determinaron cuáles son los materiales más convenientes y que otorgan mejores prestaciones.

Se seleccionó un material compuesto en matriz de poliéster SMC el cual se reforzará con fibras extraídas del pseudo tallo del plátano las cuales poseen propiedades mecánicas

favorables permitiendo remplazar las fibras artificiales que comúnmente se utilizan (fibra de vidrio), disminuyendo el uso de estas y generando una opción para este nuevo material de refuerzo (pseudo tallo del plátano) y que actualmente se considera como residuo.

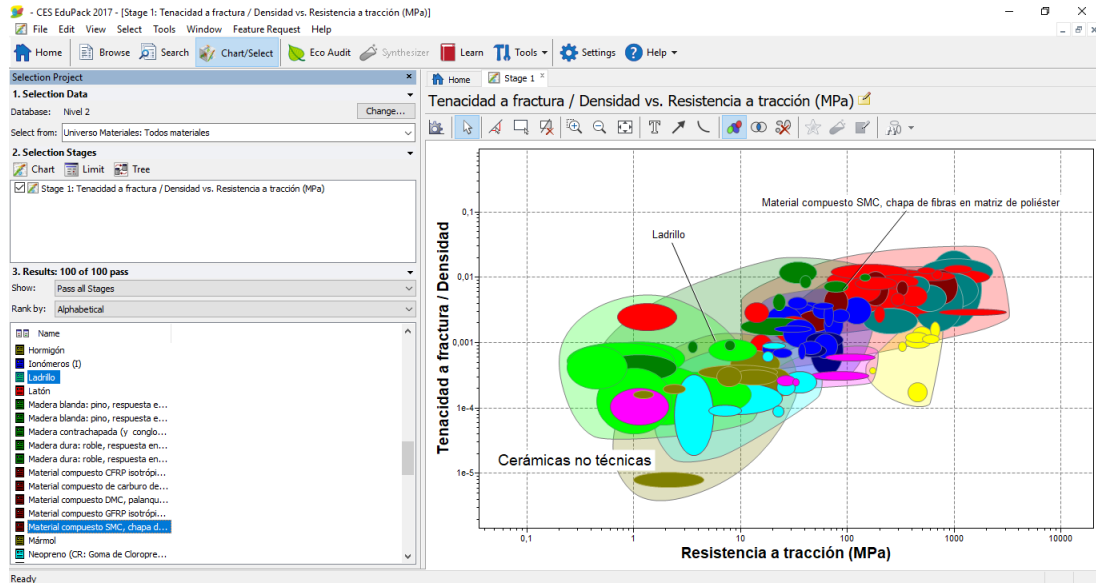


Figura 59. Tenacidad de fractura/ densidad de fractura vs. Resistencia a tracción (MPa)

Fuente: presente estudio, 2019.

Se evidencia una mayor tenacidad a fractura junto con una densidad menor y una resistencia a tracción mayor del material compuesto SMC con chapas de fibras en matriz de poliéster frente a los valores que se generan en la gráfica anterior

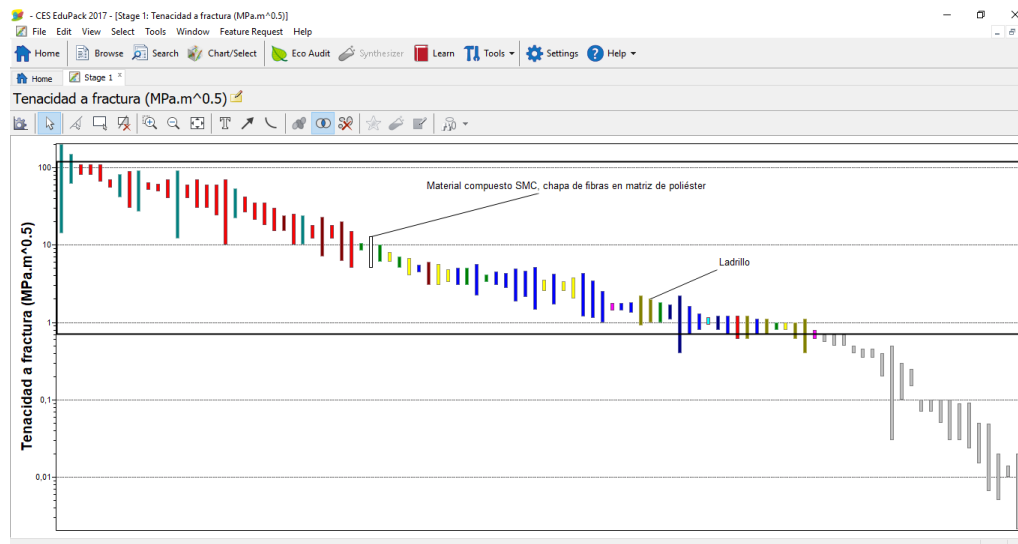


Figura 60 Tenacidad a fractura (MPa m^{0.5})

Fuente: presente estudio, 2019.

Se evidencia que el material compuesto SMC con chapas en matriz de poliéster tiene mayor resistencia a la tenacidad de fractura del ladrillo (SMC > ladrillo) según los valores de la tabla

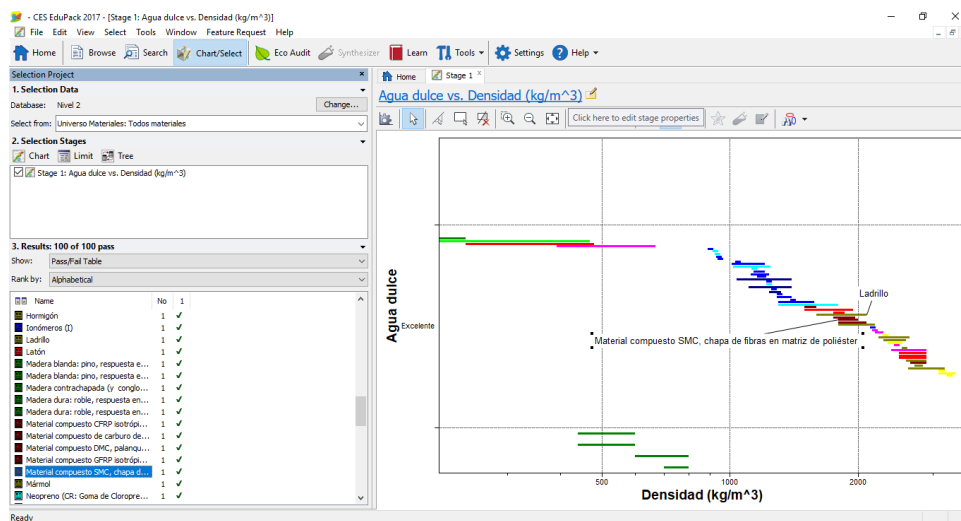


Figura 61. Agua dulce vs. Densidad (kg/m³)

Fuente: presente estudio, 2019.

Se identifica que el material compuesto SMC con chapas en matriz de poliéster tiene mayor resistencia a la humedad y sigue siendo más liviano que el material de las tejas (ladrillo).

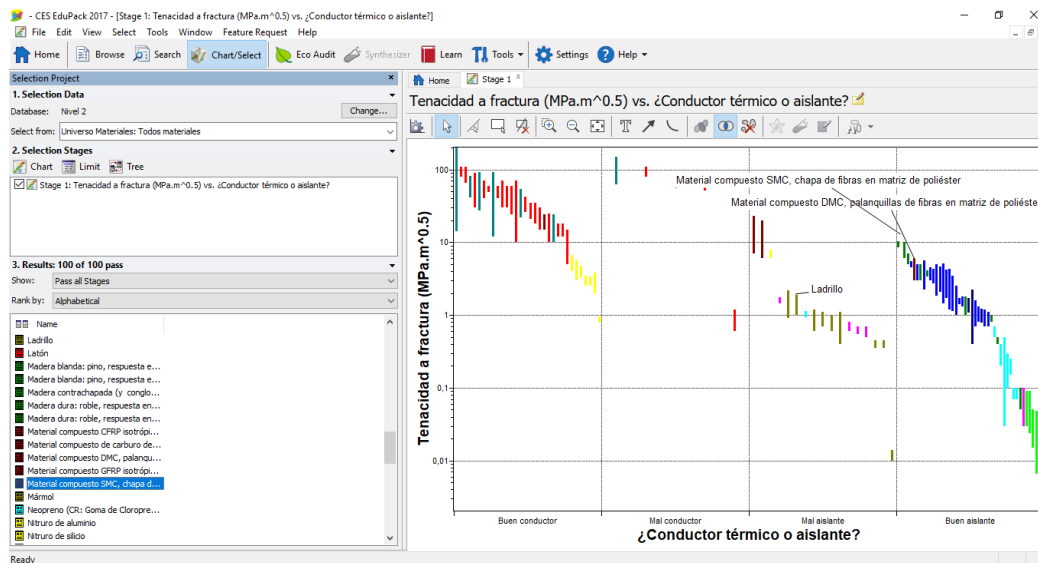


Figura 62. Tenacidad a fractura (MPa.m^{0.5}) vs ¿Conductor térmico o aislante?

Fuente: presente estudio, 2019.

Se observa que el material compuesto SMC con chapas en matriz de poliéster tiene alta resistencia a la tenacidad de fractura con respecto a la del ladrillo y de la misma forma que el SMC es un buen aislante térmico.

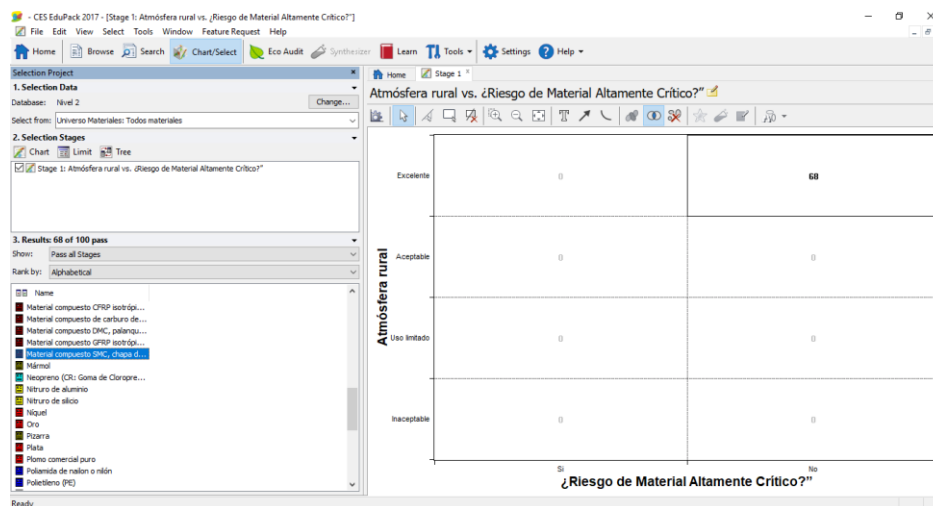


Figura 63. Atmósfera rural vs. Riesgo de material

Fuente: presente estudio, 2019.

El material compuesto SMC con chapas en matriz de poliéster es un excelente material, capaz de soportar las inclemencias del tiempo (atmósfera Rural) además no posee riesgos de ser un material crítico.

4.9 Elaboración de la teja

Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas realizadas, se procede a extraer fibra y cintas para tener materia prima para el desarrollo de la teja. Dado que se demostró que el tejido con cintas aumenta el porcentaje de flexión en el material, fue seleccionado para ser la parte externa de la teja y además por su calidad estética, se estableció que este entrelazado sería el que se coloque como acabado superficial. Por su parte el tejido biaxial (0° - 90°) será el encargado de conformar la parte estructural por sus resultados en las pruebas mecánicas.

El proceso que se llevó a cabo para la realización de la teja fue el siguiente:

1. Modelo de madera
2. Encerado
3. Extracción de fibra y cintas
4. Tejidos
5. Preparación de la resina
6. Aplicación
7. curado
8. Separación del molde
9. Acabados

Se realizó un modelo de madera (pino) con las dimensiones como se ve en la figura 64, teniendo como referencia una teja de arcilla

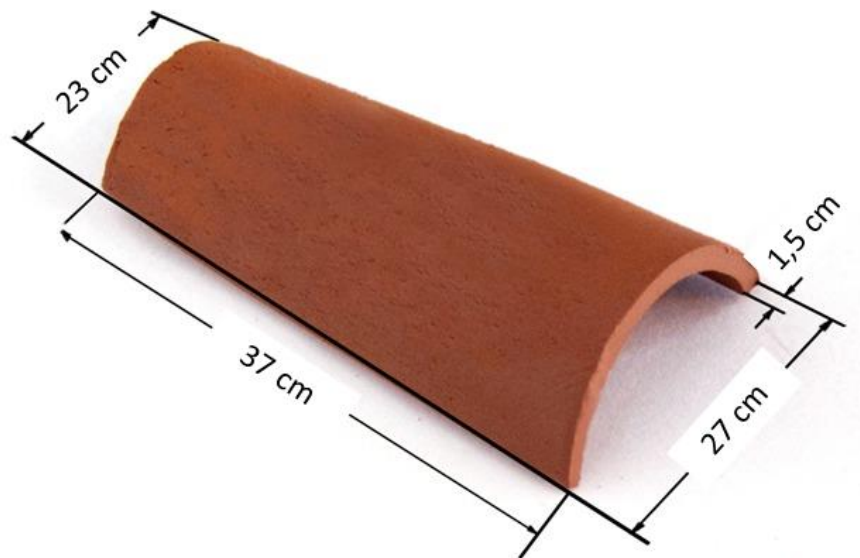


Figura 64. Dimensiones modelo de madera.

Fuente: presente estudio, 2019.

Para hacer la preparación del molde se le aplicaron 7 capas de desmoldante Cera Glass, con un tiempo entre capas de 10 minutos, a una temperatura ambiente de 20°C, como se observa en la figura 65.

**Figura 65. Encerado molde de madera**

Fuente: presente estudio, 2019.

A continuación, se procede a elaborar los tejidos de fibras (entrelazado simple) y cintas (entrelazado cruzado) (ver figura 66), que serán usados para la elaboración del prototipo final, para cada uno de los tejidos se llevó un tiempo de producción de dos horas y media, debido a las dimensiones del molde.



Figura 66. (a) tejido cruzado con cintas, (b) tejido simple con fibras

Fuente: presente estudio, 2019.

Cuando se tienen listos los tejidos, se hace la preparación de la resina, agregando monómero de estireno, el iniciador Metil Etil Ketona (MEK), y el promotor Octoato de Cobalto. Ver figura 67.



Figura 67. Preparación de resina

Fuente: presente estudio, 2019.

Se alistan los tejidos que van a ser usados en la teja, se ubica el molde y se hace la primera capa de impregnación de resina (ver figura 68). Se coloca el tejido biaxial y se procede a humedecerlo con ayuda de una brocha y luego se pasa un rodillo para eliminar las burbujas de aire; se coloca el tejido cruzado de cintas y se impregna de resina repitiendo el proceso con el rodillo.



Figura 68. Elaboración de la teja.

Fuente: presente estudio, 2019.

Se deja pasar 12 horas para el proceso de curado antes de retirar la teja del molde. Se hace un lijado suave a la pieza para retirar imperfecciones y se cortan los bordes para quitar los filos y suavizar las esquinas. Ver figura 69.



Figura 69. Teja elaborada con fibras de pseudo tallo de plátano

Fuente: presente estudio, 2019.

La teja elaborada con el nuevo material presento las características mencionadas en la tabla 15, comparadas con las dimensiones de una teja de arcilla

Tabla 15. Comparación de dimensiones

Teja elaborada con el nuevo material	Teja de arcilla
Parte frontal: 22cm	Parte frontal: 22cm
Parte posterior: 25cm	Parte posterior: 26cm
Longitud: 36cm	Longitud: 37cm
Espesor: 0,5	Espesor: 1,5cm
Peso: 468,4gr	Peso: 2,300gr

Se pudo concluir que se hizo una reducción de peso del 79,7%.



Figura 70. Prueba de la teja en Maquina Universal de ensayos

Fuente: presente estudio, 2019.

4.10 Prueba mecánica

La teja fue sometida a ensayo de flexión en la Máquina Universal de Ensayos con una configuración de tres puntos con soporte fijos y punta de carga. Para esto la teja tuvo que ser cortada en los dos costados quedando con un ancho de 15cm. Para ser colocada en los soportes con una distancia de 26cm entre estos como se ve en la figura 70.

En la figura 71 se observan los resultados producto de la carga a la que fue sometida la teja.

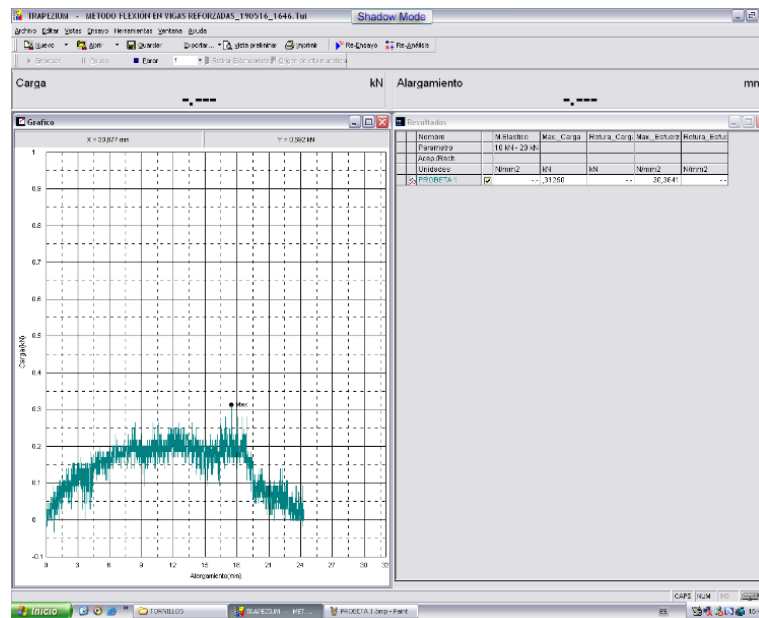


Figura 71. Datos arrojado por la Máquina Universal de ensayos

En la figura 7 se se ve el comportamiento de la teja elaborada con el nuevo material en la Máquina universal de ensayos.

La Máquina Universal de Ensayos, no supero 1kN de carga, durante 1453,60 sg (24 minutos) que duro la prueba, donde la teja presento un alargamiento (Elongación) de 24, 294 mm, momento en que presento la fractura.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

Se identificó el método óptimo de extracción de la fibra de pseudo tallo de plátano para ser desarrollado en menor tiempo, después de ser usadas varias técnicas para la obtención de las mismas, logrando como resultado fibras de buena calidad y longitudes y grosores similares.

Las pruebas mecánicas realizadas comprobaron las características físicas y mecánicas del material compuesto desarrollado a partir de tejidos simples y cruzados, sometidos a ensayos de flexión y compresión. Demostrando que el tejido biaxial con mayor cantidad de fibras en la urdimbre y la trama es el que soporta mayor esfuerzo.

Se evidencio que la calidad, la cantidad de la fibra y el tipo de tejido influyen directamente en la resistencia que presenta el material, por lo tanto, no se recomienda trabajar con fibras unidireccionales como refuerzo ya que no brindan resistencia mecánica.

Se pudo generar un nuevo material compuesto reforzado con fibras naturales, si bien las características mecánicas no son las mejores, comparadas con materiales compuestos usados tradicionalmente, debido a que el material de refuerzo no se impregna completamente con la matriz, si se puede usar el material para aplicaciones de productos que no requieran ser sometidos a esfuerzo.

Gracias al software Ces EduPack y sus herramientas de selección de materiales y procesos permite evidenciar las ventajas que tiene un material compuesto para la elaboración de las tejas sobre el material usado actualmente, ya que es frágil pesado y voluminoso. Estas tejas son usadas en edificaciones de zonas rurales donde en la mayoría de los casos son de difícil acceso lo que genera problemas ya algunas llegan rotas a su destino.

Con el material compuesto se presentará una disminución de peso en la estructura que soporta las tejas, ya que se desarrolla partir del uso de un material residual, se obtiene un nuevo producto con mejores características tales como: Disminución del costo en el transporte ya que se puede cargar más tejas debido a la disminución en el volumen, Disminución en el material de unión usado para para el montaje, Se pueden elaborar con variación de color, textura y forma según molde.

PARTICIPACIONES EN EVENTOS DE INVESTIGACIÓN.

Nacionales

IV Simposio de materiales poliméricos, Cali, Valle del cauca

II encuentro internacional de investigación universitaria, Tunja, Boyacá

IV Encuentro ciencia, mujer y tecnología, Tunja Boyacá

Rueda de proyectos de investigación docentes y jóvenes investigadores “proyectos SGI vigentes UPTC sede Duitama, Duitama, Boyacá

III seminario de materiales compuestos y su aplicación en la industria colombiana, Sena Centro de Materiales y Ensayos, Regional distrito capital.

Congreso Nacional de Investigación e Innovación Ambiental – CAR, Bogotá, Colombia

Internacionales

Desafío de selección de materiales España

18° Congreso internacional de metalurgia y materiales SAM-CONAMET San Carlos de Bariloche, Argentina.

Reconocimiento

Proyecto ganador de la seccional Duitama de la Convocatoria Interna DIN 04 de 2018- Fortalecimiento de grupos de investigación UPTC categorizados en C o Reconocidos, según convocatoria 781 DE 2017 DE COLCIENCIAS

REFERENCIAS

- Agrios, (2006). *Enfermedades causadas por ascomicetes y hongos imperfectos*. Recuperado de <http://biblioteca.utsem-morelos.edu.mx/files/asp/biologia/FITOPATOLOGIA%20-%20George%20N-Agrios.pdf>
- Askeland, Fulay y Wrigth (2019). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Sexta edición. Cengage Learnig. México. Recuperado de: <https://osvaldoweb.files.wordpress.com/2016/04/ciencia-e-ingenieria-de-materiales-sexta-edicic3b3n.pdf>.
- ASTM D7264/D7264M – 07 , norma <https://www.astm.org/>
- Baker, T.A. & Bell, S.P. (1998). *Polymerases and the replisome: machines within machines*. Cell 92 (3): 295-305
- Barroso, S. e Ibañez, J.(2014). *Introducción al conocimiento de materiales*. UNED Cuadernos. Universidad Nacional a Distancia. Madrid. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OabsAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=tipos+de+materiales&ots=VEhNmAjbwe&sig=EY9ZUiN8JfoHmJL_uLiMG1_1MBQ#v=onepage&q=tipos%20de%20materiales&f=true
- Belalcazar, S. Cayón, G y Arcila, M. (1998). *Manejo de plantaciones* pp. 123-136 en: Memorias Seminario Internacional sobre producción de plátano. Armenia, Quindío. Colombia.
- Benazco , L. (2015). *Preparación y caracterización de fibras naturales*. Universidad de la Laguna. Escuela superior de ingeniería y tecnología sección de ingeniería industrial Recuperado de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1034/PREPARACION%20Y%20CACTERIZACION%20DE%20FIBRAS%20NATURALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Besednjak (s.f.). *Moldeo por contacto Laminación manual*. Recuperado de <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=17497/2011/1/53408/22639-3142.pdf>

- Brett, C.T. (2000). *Cellulose microfibrils in plants: biosynthesis, deposition, and integration into the cell wall*. Int. Rev. Cytol. 199: 161-199
- Ces Edupack (S.F.) <https://grantadesign.com/education/ces-edupack/what-is-edupack/>
- CIRAD Inibap. Internacional (1984). *Plant Genetic Resources Institute*. Recuperado de https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/learning_space/descriptors_banana_spa.pdf
- CORPOBOYACA. (2016). *Calidad del aire en Boyacá*. gestión de la calidad del aire, 1, pp. 29-32.
- DANE (2015). *Departamento Administrativo Nacional De Estadística Censo Nacional Agropecuario*, tomado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censonacional-agropecuario-2014> también disponible en https://www.dapboyaca.gov.co/descargas/anuarios/2015/ANUARIO_ESTADISTICO_2015.pdf
- DANE, (2014) *El cultivo del plátano (Musa paradisiaca), un importante alimento para el mundo*. Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Abril Núm. 22 Disponible en https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_abr_2014.pdf
- DANE. (2014). *Censo nacional agropecuario décima entrega resultados - 2014* . 2018, de DANE Sitio web: <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>
- Dávila, L. Galeas, S., Sotomayor V, Pontón, P. (2011) *Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales*. Editorial Víctor Hugo Guerrero. Quito Ecuador. recuperado de https://www.academia.edu/20338571/Nuevos_materiales_aplicaciones_estructurales_e_industriales
- Deaquiz, Y. y Moreno, B. (2016). *Producción y biosíntesis de fibras vegetales una revisión Conexión Agropecuaria* Vol. 6 - No- 1 Enero - Junio pp. 29-42 29. Recuperado de <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/download/53/51/>
- FAO (S.F.). *Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)* Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/4994/es/>

- Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H. & Sain, M. (2012). *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010*. Progress in Polymer Science 37: 1552-1596.
- Fernández y López, (1970). *Erwinia paradisiaca* Secretaría de GBIF. Taxonomía Backbone. Conjunto de datos de la lista de verificación <https://doi.org/10.15468/39omei> al que se accede a través de GBIF.org el 2019-05-22
- Foster, A.S. & Gifford, E.M. (1959). *Comparative Morphology of Vascular Plants. ED.*, W.H. Freeman and Company. San Francisco and London. 555pp
- Gong, H (2007). *Características de la madera y los métodos de almacenamiento de residuos de porplar*, Tableros de madera de China 14 (3), 29-30. Guha, SRD (1960). “papeles Kraft de tallos de plátano” India Pulp and Paper 15 (5), 311-315.
- Heinze, T. & Liebert, T. 2012. *Celluloses and Polyoses/Hemicelluloses*. Polymer Science: A comprehensive reference 10: 83-152.
- Holland, N., Holland, D., Helentjaris, T., Dhugga, K., Xoconostle- Cazares, B. & Delmer D.P. (2000). A comparative analysis of the plant cellulose synthase (CesA) gene family. Plant Physiology 123: 1313-1323.
- Holtzaple, M. (2003). *Cellulose*. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition). 998-1007pp.
- IDEAM. *Clasificación de climas* recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/clima-text.pdf>
- ISO 14.000. Norma medio ambiente. Recuperado de <https://www.isotools.org/normas/medio-ambiente/>
- Jarvis, M. (2003). *Cellulose stacks up*. Nature 426: 611-612.
- John, M. J. & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. Carbohydrate Polymers 71: 343-364.
- Kumar, R., Singh, S., & Singh, O. V. (2008). *Bioconversion of lignocellulosic biomass: biochemical and molecular perspectives*. Journal of Industrial Microbiology Biotechnology 35: 377-391.
- Kun, L. Shiyu, Huaiyu, F. Zhan U. y Lucian A. (2010) *Analysis of the chemical composition an morphological structure of banana pseudo stem*. Biosources.com Laboratorio Estatal de Pulpa y Papel de Ingeniería de la Universidad del Sur de China de

- Tecnología, Guangzhou, China, 510640; segundo. Laboratorio de materiales blandos y la Química Verde, Departamento de Madera y Papel Ciencia, Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, Carolina del Norte
- Lane, D., Wiedemeier A., Peng, L., Hofte, H., Vernhettes, S., Desprez, T. (2001). *Temperature-sensitive alleles of RSW2 link the KORRIGAN endo-1,4-b-glucanase to cellulose synthesis and cytokinesis in Arabidopsis*. Plant Physiology 126: 278-288.
- Llanos M. C. (1966). *Anotaciones preliminares sobre una nueva enfermedad del plátano en el Valle del Cauca*. Séptima reunión del Programa de Fitopatología del ICA. Chinchiná (Caldas). 6 p. (Mimeógrafo). 1966.
- López, G. Montaña, F. (2014). *Propiedades funcionales del plátano (Musa sp)*. <https://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2014/muv142d.pdf>
- López, S., Pérez, I., Pedraza. (2016). *¿Qué impacto ambiental generan los hornos de alfarería ubicados en la ciudad de Sogamoso - Boyacá?.* , de Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Sitio web: <https://www.dropbox.com/s/uzn87cmxjdilbs0/memorias%20SID8.pdf?dl=0>
- Lopez, G., Gómez. (2014). *Propiedades funcionales del plátano (Musa sp)*. Universidad Veracruzana Sitio web: https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol14_num2/articulos/propiedades.pdf
- Mao, Z., Xingming J., Yiming C., Lina W., Meng L. & Quan Y. 2011. *Preparation of dual-layer cellulose/ polysulfone hollow fiber membrane and its performance for isopropanol dehydration and CO2 separation*. Separation and Purification Technology 179-184 pp.
- Martínez, G. (1998). *El cultivo del plátano en los llanos orientales*. Corpoica, Regional 8, p. 44
- Martínez, G. Hernández, J. López, T. y Menchaca, C. (2015) *Materiales sustentables y reciclados en la construcción* Omnia Sciencie. Monographs. México. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=JI4wBwAAQBAJ&pg=PA125&dq=materiales+compuestos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwibgqr54ITiAhWETN8KHdnEC6gQ6AEILTAB#v=onepage&q=materiales%20compuestos&f=true>

- Méndez, R. (2009) *Diseño de tejas prefabricadas de bajo coste que incorporan residuos industriales de carácter puzolánico para uso en países en vías de desarrollo. Aplicación al caso de Cali* (Colombia). Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en <http://www.upv.es/upl/U0566484.pdf>
- Mende z-Ortiz, M. & Membrillo Hernández, J. (2004). *Mecanismos moleculares de la síntesis de celulosa en bacterias*. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 7 (1): 26-34
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019) *Cadena De Plátano*. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/004%20-%20Documentos%20Competitividad%20Cadena/D.C.%202014%20Octubre%20-%20Indicadores%20platano.pdf>
- Ministerio de Educación Nacional, (2010). *Residuos de la planta de plátano es utilizado en la creación de muros*. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.mineducacion.gov.co/observatorio/1722/article-216241.html>
- Naciones Unidas. CEPAL, (s.f.). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Newell, (2012). *Ciencia de materiales. Aplicaciones en ingeniería*. Editorial Afaomega. México. Recuperado de https://books.google.com.co/books/about/Ciencia_de_materiales_aplicaciones_en_in.html?id=4JM3DQAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- ONU. (2012). *Liberando el potencial comercial de las fibras naturales*. 2018, de *Organización de las Naciones Unidas* Sitio web: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/resources2/es/>
- Pacheco-Torgal, F. & Jalali, S. (2011). *Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review*. *Construction and Building Materials* 25 (2): 575-581.
- ProMusa. (2016). *Morfología de la planta del banano*. de ProMusa Sitio web: <http://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>

- Ren, J.L. & Sun, R.C. (2010). *Hemicelluloses. Chemistry, Extractives, Lignins, Hemicelluloses and Cellulose. Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels.* 73-130 pp.
- Rodriguez, (2017) *Influencia de la dosis de trimetoxivinilsilano y dosis de fibra de pseudo tallo de plátano, sobre la resistencia a la tracción, de un compuesto de matrizpoliéster.* Universidad Nacional de Trujillo. Para optar al título de Ingeniero de Materiales. Perú Recueprado de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8917/RODR%C3%8DGUEZ%20LOYOLA%2c%20Fernando%20Octavio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, L. Sarache, W. y Orrego, C. (2014). *Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (Musa paradisiaca) Modificada Químicamente: Comparación con Fibra de Vidrio y Fique (Furcraea andina).* *Información tecnológica*, 25(5), 27-34. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000500005> Recuperado en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000500005
- Romling, U. (2002). *Molecular biology of cellulose production in bacteria.* *Research in Microbiology* 153 (4): 205-212.
- Salam, A., Pawlak, J.J., Venditti, R.A. & I-Tahlawy, K. E. (2011). *Incorporation of carboxyl groups into xylan for improved absorbency.* *Cellulose* 18: 1033-1041.
- Saxena, I. & Brown, M. (2005). *Cellulose Biosynthesis: Current Views and Evolving Concepts.* *Annals of Botany* 96: 9-21.
- Scheller, H. & Ulvskov, P. 2010. *Hemicelluloses. Annu. Rev. Plant. Biol.* 61: 263-289.
- Schwikal, K., Heinze, T., Saake, B., Puls, J., Kaya, A. & Esker, A.R. 2011. Properties of spruce sulfite pulp and birch kraft pulp after sorption of cationic birch xylan. *Cellulose* 18: 727-737.
- Secretaria De Fomento Agropecuario, (2016). Recuperado de https://www.dapboyaca.gov.co/descargas/anuarios/2015/ANUARIO_ESTADISTICO_2015.pdf
- Somerville, C. (2006). *Cellulose Synthesis in higher plant.* *The Annual Review of Cell and Developmental Biology* 22: 53-78.

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

Disponible en <http://file.yizimg.com/175706/2012061422194947.pdf>

- Staiger M. & Tucker, N. (2008). *Natural-fibre composites in structural applications*. En: *Pickering, K. (ed.), Properties and performance of natural-fibre composites*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK 269-300 pp.
- Stork, J., Harris, D., Griffiths, J., Williams, B., Beisson, F., Li-Beisson, Y., Mendu, V., Haughn, G & Debolt, S. (2010). *Cellulose synthase serves a nonredundant role in secondary cell wall synthesis in arabidopsis epidermal testa cells*. *Plant Physiology* 153 (2): 580-589.
- Sun, R.C., Tomkinson, J., Geng, Z.C. & Wang N.J. (2000). *Comparative studies of hemicelluloses solubilized during the treatments of mainze stems with peroxymonosulfuric acid, peroxyformic acid, peracetic acid, and hydrogen peroxide*. Part 1. Yield and chemical characterization. *Holzforschung* 54: 349-356.
- Tsekos, I. & Reiss, H.D. (1992). *Occurrence of the putative microfibrilsynthesizing complexes (linear terminal complexes) in the plasma membrane of the epiphytic marine red alga Erythrocladia subintegra Rosenv.* *Protoplasma* 169: 57-67.
- Vandan, J.E. & Gorshkova, T.A. (2003). *Cell Walls and Fibers / Fiber Formation*. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. 87-96 pp.
- Xu, F., Sun, RC, Lu, P., y Jones, GL (2006). *Estudio comparativo de la anatomía y distribución lignina en la madera normal y la tensión de gordejecii Salix*, *Ciencia y Tecnología de la Madera* 40, 358-370