



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

### TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TEMA:** “DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE FIBRAS NATURALES PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS”

**AUTOR:** TUALOMBO PERDOMO, SANTIAGO ANDRÉS

**DIRECTOR:** MSC. RIOFRÍO, PATRICIO

**CODIRECTOR:** DR. GOYOS, LEONARDO

**SANGOLQUÍ 2015**

**CERTIFICADO**

**Director: MSc. Riofrío Patricio**

**Codirector: Dr. Goyos Leonardo**

**CERTIFICAN.**

Que el trabajo de grado: "DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE FIBRAS NATURALES PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS", elaborado por el Sr. Tualombo Perdomo Santiago Andrés, ha sido dirigida y revisada durante su ejecución a través de reuniones periódicas para dar cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan Trabajos de Titulación, por lo tanto autorizamos la presentación.

Sangolquí, 28 Octubre del 2015

  
\_\_\_\_\_  
**MSc. Riofrío Patricio**  
**Director**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Goyos Leonardo**  
**Codirector**

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Autor: Tualombo Perdomo Santiago Andrés

DECLARA QUE:

El trabajo de grado: "DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE FIBRAS NATURALES PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS", se ha desarrollado citando las fuentes correspondientes y respetando las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Por tal razón, las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente documento, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Sangolquí, 28 Octubre del 2015



Sr. Tualombo Perdomo Santiago

## AUTORIZACIÓN

Yo, Tualombo Perdomo Santiago Andrés, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" la publicación en la Biblioteca Virtual de la institución, el trabajo de grado: "DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE FIBRAS NATURALES PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 28 Octubre del 2015



Sr. Tualombo Perdomo Santiago

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien me ha guiado durante toda mi vida, quien me ha enseñado el valor de la vida y nunca me ha dejado ser derrotado por las adversidades que se presentaron, siempre me enseñó una lección en cada alegría y tristeza.

A mis padres Soledad y Jorge quienes siempre me han brindado su apoyo en todas las acciones y decisiones que he tomado siempre guiándome con sus consejos, es por ellos que no me dejaron desfallecer y gracias a su apoyo estoy cumpliendo mis metas.

Para mi hermana Grace y mi hermano Patricio, siempre están para apoyarme y de igual manera siempre podrán contar con mi apoyo.

A Jennifer que se ha convertido en una parte muy importante en mi vida y no me ha dejado de dar ánimos para culminar con esta etapa.

**Santiago Andrés**

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco de todo corazón a mi director de Tesis MSc. Patricio Riofrío y a mi codirector de Tesis Dr. Leonardo Goyos por sus orientaciones, su paciencia y su motivación que ha sido parte muy importante para poder acabar con este proyecto.

A mis familiares que me han sabido apoyar, me supieron dar un consejo, una voz de aliento, me extendieron su mano para levantarme cuando estaba caído y levantarme para seguir adelante.

A mis amigos y amigas con las cuales he compartido experiencias únicas, gracias totales.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	CAPÍTULO: GENERALIDADES .....	1
1.1	Introducción .....	1
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo general .....	3
1.3.2	Objetivos específicos .....	3
1.4	Justificación .....	3
1.5	Alcance .....	4
2	CAPÍTULO: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1	Descripción del proyecto.....	5
2.2	Definición del problema .....	6
2.3	Distribución y uso del banano en el Ecuador.....	6
2.4	Extracción de raquis de banano .....	9
2.5	Materiales compuestos.....	10
2.5.1	Definiciones técnicas.....	11
2.5.2	Materiales compuestos con fibras.....	14
2.5.3	Función de las fibras .....	15
2.5.4	Función de la matriz .....	15
2.5.5	Biocomponentes de fibras naturales .....	16
2.6	Características y clasificación de fibras naturales .....	17
2.6.1	Propiedades de la fibra de raquis.....	21
2.6.2	Propiedades físicas .....	21

2.7	Características del cemento .....	22
2.8	Elementos constructivos elaborados con adición de fibras naturales ..	24
2.8.1	Características y requerimientos de los elementos constructivos .	25
2.8.2	Propiedades mecánicas de los materiales compuestos .....	26
2.9	Dosificación de cemento en volumen .....	32
3	CAPÍTULO. DESARROLLO DEL MATERIAL.....	34
3.1	Parámetros de diseño.....	34
3.1.1	Condiciones del lugar.....	34
3.2	Elaboración del material compuesto .....	35
3.2.1	Obtención de las fibras de raquis de banano .....	35
3.2.2	Peso de las fibras de raquis de banano .....	37
3.2.3	Ensayo de tracción de las fibras.....	41
3.3	Elaboración de moldes .....	43
3.3.1	Moldes para ensayos a compresión.....	43
3.3.2	Moldes para ensayos a flexión .....	43
3.3.3	Moldes para ensayos de conductividad térmica.....	44
3.4	Elaboración de probetas para los ensayos de compresión, flexión y conductividad térmica.....	44
3.5	Material utilizado en las probetas para los ensayos a compresión, flexión y conductividad térmica .....	45
3.5.1	Materiales para las probetas de ensayos a compresión .....	45
3.5.2	Materiales utilizados en las probetas para ensayos de flexión.....	50
3.5.3	Material usado para la elaboración de probetas para los ensayos de conductividad térmica. ....	53



3.6	Ensayos de compresión.....	54
3.7	Ensayos de flexión.....	55
3.8	Ensayo de conductividad térmica .....	56
4	CAPÍTULO. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	58
4.1	Tabulación de datos.....	58
4.1.1	Análisis de fibras a tracción.....	58
4.1.2	Análisis de material a compresión.....	62
4.1.3	Análisis de material a flexión.....	68
4.1.4	Análisis de conductividad térmica en fibras de raquis de banano. 78	
4.1.5	Análisis de conductividad térmica en el material compuesto. ....	79
4.2	Características del material compuesto.....	80
5	CAPÍTULO. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	82
5.1	Análisis Económico.....	82
5.1.1	Costos directos para la realización.....	82
5.1.2	Costos indirectos.....	82
5.2	Costos totales .....	83
6	CAPÍTULO. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
6.1	Conclusiones.....	84
6.2	Recomendaciones.....	85
7	BIBLIOGRAFÍA.....	86
	ANEXOS.....	94
	ANEXO “A”. Norma INEN 488,2009, Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.....	95
	ANEXO “B”. Norma INEN 198, 1997 Determinación de la resistencia a	

flexión y compresión de morteros. ....	96
ANEXO “C”. Tablas de la resistencia de a la tracción en fibras de banano. ....	97
ANEXO “D”. Tablas de la resistencia de a la compresión en el material compuesto. ....	98
ANEXO “E”. Tablas de la resistencia de a la flexión en el material compuesto.	99
ANEXO “F”. Tablas del ensayo de conductividad térmica en el material compuesto. ....	100
ANEXO “G”. Norma INEN 643 para bloques huecos. ....	101

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de las fibras naturales .....	18
Cuadro 2. Características anatómicas del raquis de banano.....	21

## LISTA DE GRÁFICOS

Figura 1. Fibras de raquis de banano .....	5
Figura 2. Planta de banano.....	6
Figura 3. Distribución de cultivo de banano .....	8
Figura 4. Esquema de las partes de la planta de banano.....	9
Figura 5. Transporte de racimo de banano.....	9
Figura 6. Descripción de los materiales compuestos.....	26
Figura 7. Patrón de deformación de una matriz que rodea a una fibra sometida a tracción.....	27
Figura 8. Relación de longitudes.....	28
Figura 9. Morfologías de compuestos reforzados con fibras .....	29
Figura 10. Raquis de banano sin rebabas y fibras extraídas .....	36
Figura 11. Desfibradora de hojas y seudotallo.....	36
Figura 12. Balanza digital .....	37
Figura 13. Medición del peso para raquis de banano .....	40
Figura 14. Máquina de ensayos a tracción .....	41
Figura 15. Muestra de raquis de banano para ensayos de tracción .....	42
Figura 16. Fibra de banano a tracción .....	42
Figura 17. Moldes para ensayos de compresión .....	43
Figura 18 Moldes para ensayos a compresión .....	43
Figura 19. Moldes para los ensayos de conductividad térmica.....	44
Figura 20. Recipiente utilizado para la medida de materiales.....	44
Figura 21. Llenado de moldes con material compuesto.....	45
Figura 22. Probetas listas para los ensayos de compresión.....	48

Figura 23. Probetas de ensayos a flexión.....	50
Figura 24. Probetas listas para realizar el ensayo de flexión.....	52
Figura 25. Probetas listas para realizar el ensayo de conductividad térmica....	53
Figura 26. Forma de realizar el ensayo de compresión .....	54
Figura 27. Desarrollo del ensayo de flexión en las probetas .....	55
Figura 28. Máquina para ensayos de conductividad térmica de placas paralelas .....	56
Figura 29. Esfuerzo vs Deformación de las muestras de raquis de banano ....	58
Figura 30. Máquina para ensayos a compresión. ....	62
Figura 31. Comparación de valores de resistencia máxima vs el porcentaje de fibras de raquis de banano. ....	67
Figura 32. Probeta de ensayo a flexión con raquis de banano .....	71
Figura 33. Probetas echas de capas de raquis de banano con fibras largas....	73
Figura 34. Probeta hecha con fibras de brocha para el ensayo de flexión. ....	75
Figura 35. Probetas de ensayo a flexión conformadas por capas de fibras largas. ....	76
Figura 36. Resumen de ensayos y su resistencia a la flexión.....	77
Figura 37. Probeta de fibras largas.....	77
Figura 38. Bloque hueco .....	80

## **LISTADO DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Volumen .....	40
Ecuación 2. Densidad .....	40
Ecuación 3. Longitud crítica de la fibra. ....	45
Ecuación 4. Esfuerzo cortante .....	46
Ecuación 5. Resistencia a la compresión .....	54
Ecuación 6. Esfuerzo normal máximo.....	55
Ecuación 7. Coeficiente de conductividad térmica .....	56
Ecuación 8. Área de un círculo .....	60

Ecuación 9. Área de un rectángulo .....	61
Ecuación 10. Resistencia específica.....	63

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Características cemento portland .....	23
Tabla 2. Cualidades para la confección de 1m <sup>3</sup> de hormigón en volumen .....	33
Tabla 3. Peso de muestras de fibras de banano.....	38
Tabla 4. Datos para los cálculos de volumen por desplazamiento de líquido y para la densidad. ....	39
Tabla 5. Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 0% de raquis. ....	46
Tabla 6. Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 5% de raquis. ....	47
Tabla 7. Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 10% de raquis. ....	47
Tabla 8. Cantidad de material usado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 15% de raquis. ....	48
Tabla 9. Cantidad de material utilizado en la elaboración probetas de ensayos de compresión con 5% de raquis.....	49
Tabla 10. Cantidad de material utilizado en la elaboración probetas de ensayos de compresión con 5% de fibra de brocha. ....	49
Tabla 11. Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 0% de raquis.....	50
Tabla 12. Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 5% de raquis.....	51
Tabla 13. Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 10% de raquis.....	51
Tabla 14. Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 5% de fibras de brocha.....	52

Tabla 15.....	53
Tabla 16. Esfuerzos máximos y deformaciones máximas para las muestras de raquis de banano.....	60
Tabla 17. Ensayos de tracción en mono fibras. ....	61
Tabla 18. Resultados del ensayo a compresión con 0% de raquis.....	63
Tabla 19. Resultados del ensayo a compresión con 5% de raquis.....	64
Tabla 20. Resultados del ensayo a compresión con 10% de raquis.....	65
Tabla 21. Resultados del ensayo a compresión con 15% de raquis.....	66
Tabla 22. Resultados de ensayo a flexión con 0% de raquis.....	68
Tabla 23. Resultados de ensayo a flexión con 5% de raquis.....	70
Tabla 24. Probetas con fibras largas distribuidas en tres capas.....	72
Tabla 25. Resultados de ensayo a flexión con 10% de raquis.....	73
Tabla 26. Resultados de las probetas hechas con fibras de brocha.....	74
Tabla 27. Datos para la conductividad térmica de las fibras.....	78
Tabla 28. Datos para el cálculo de la conductividad térmica del material.....	79
Tabla 29. Costo directo de la tesis.....	82
Tabla 30. Costos indirectos de la tesis.....	83
Tabla 31. Costos totales del proyecto.....	83

## RESUMEN

El presente proyecto tuvo como tema central la investigación del comportamiento de las fibras de raquis de banano mezclada con morteros de cemento y arena, obteniendo como resultado un material compuesto que podría ser utilizado para la construcción en viviendas, debido a la facilidad de encontrar estas fibras en el Ecuador. En la primera fase para la realización del material compuesto, se determinó las propiedades mecánicas de las fibras de raquis de banano, obteniendo como resultado que el esfuerzo máximo a la rotura es de 12 Mpa, después de esto se definió las proporciones con las cuales se realizaría el mortero de cemento y arena para lograr que los materiales logren adherirse de forma adecuada. Por último, se realizó probetas con el 10% de fibras de raquis de banano de concentración y las cuales fueron sometidos a los ensayos mecánicos y térmicos basados en la norma INEN 198, obteniendo como resultados en los diferentes ensayos los valores de 4,96 Mpa para el ensayo de compresión y 1,77 Mpa para los ensayos de flexión, siendo estos valores máximos para los ensayos antes mencionados. El ensayo térmico de conductividad del material compuesto dio como resultado 0,3 W/°K m siendo este un material aislante, por esto se puede usar este material en la construcción de viviendas.

### **Palabras clave:**

- **RAQUIS DE BANANO.**
- **MORTERO DE CEMENTO Y ARENA.**
- **MATERIAL COMPUESTO.**
- **ENSAYOS MECÁNICOS.**
- **ENSAYOS TÉRMICOS.**

## **ABSTRACT**

This project was to focus research on the behavior of fibers rachis of banana mixed with cement and sand mortar, resulting in a composite material that could be used for construction in housing, due to the ease of finding these fibers in Ecuador. In the first phase for the realization of composite material, mechanical properties of the fibers rachis banana was determined, the result being that the maximum stress at break is 12 MPa, after which the proportions defined with which would make the cement and sand mortar to ensure that materials achieve adhere properly. Finally, the specimens was performed with 10% banana stalk fibers and concentration which were subjected to mechanical and thermal tests based on standard INEN 198, as results obtained in the different assays the values of 4.96 MPa for compression test and 1.77 Mpa for bending tests, and these peak values for the above tests. The thermal conductivity test of the composite material have a result gave 0.3 W / m ° K this being an insulating material, so the material can be used in housing construction.

### **Keywords:**

- **BANANA SPINE.**
- **CEMENT AND SAND MORTAR.**
- **COMPOSITE MATERIAL.**
- **MECHANICAL TESTS.**
- **THERMAL TESTS.**



## 1. CAPÍTULO: GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

La influencia de la producción bananera en el Ecuador empieza alrededor de la década de los cuarenta como una forma alternativa para poder superar la recesión económica de los años treinta, el Ecuador ganó mercado gracias a que los países productores de centro América y el Caribe estaban siendo azotados por plagas y huracanes.

Al asumir la presidencia el señor Galo Plaza Lasso, Ecuador exportaba 3.8 millones de racimos y durante su periodo esto aumentó en un 421%, lo que representa el porcentaje más alto de la expansión bananera del país que se vio reflejado en las divisas que ingresaron por la venta de esta fruta.

Ecuador es el mayor exportador de banano del mundo y su presencia en el comercio mundial va en aumento, todo esto teniendo en cuenta que es un país pequeño en población y extensión. La gran virtud de Ecuador es su clima que favorece al cultivo de frutas como lo es el banano, por su ubicación geográfica tiene un clima más o menos estable que contribuye a una producción permanente durante todo el año.

Uno de los factores importantes de la producción del banano es la bolsa de empleo que genera, en la cual trabajan más de un millón de familias, equivalente a más de 2,5 millones de personas, residentes principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, El Oro y en menor proporción en otras provincias como Cañar, Cotopaxi, Bolívar, Esmeraldas, Pichincha y Manabí; se encargan de la producción y exportación del banano en el país. (García, 2010)

## 1.2 Antecedentes

Con la generación de nuevas necesidades y el consumo de los recursos naturales no renovables se ha creado la necesidad de generar nuevos materiales en base al reciclaje, recursos naturales renovables y energías limpias.

Nuestro país por ser el banano el producto de exportación número uno, genera desperdicios que pueden ser aprovechados para diferentes procesos en la industria.

Los desechos que genera la cosecha del banano como lo es el seudotallo y las hojas son usados como abono natural en las propias plantaciones cerrando el ciclo de reciclado de una parte del desperdicio generado, mientras que el raquis junto con la fruta son transportados a los lugares de empaque o en el caso de consumo interno al transporte que los llevara a los diferentes mercados para el consumo en el país.

El raquis de banano es uno de los desperdicios de la agroindustria de mayor presencia por la gran cantidad de producción de banano de nuestro país que es aproximadamente 3.500.000 toneladas, esto genera una cantidad de desperdicios que pueden ser usados en otro diferente tipo de producción ya que son fibras naturales. (García, 2010)

La producción del país está distribuida a lo largo de la Sierra, Costa y Oriente Ecuatoriano donde aportan el 10%, 89% y 1% respectivamente. Las condiciones climáticas de nuestro país han permitido que la producción de banano se la desarrolle de forma constante con lo cual la calidad de este producto se ha ido incrementando hasta llegar a ser reconocido mundialmente. (Censos, 2009)

El raquis de banano ha sido empleado en otros países como Costa Rica, Brasil y Colombia para la elaboración de papel o en el diseño de artesanía y así se crea alternativas para este tipo de desecho de la producción de banano.

Por esta razón la necesidad de desarrollar el conocimiento necesario para ser aplicado a este desperdicio, que pueda ser implementado en nuestro país, con la finalidad de elaborar un material compuesto que pueda ser utilizado en la construcción de viviendas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

“DESARROLLAR UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE FIBRAS NATURALES PARA LA UTILIZACIÓN EN VIVIENDAS”

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la resistencia mecánica de las fibras de raquis de banano.
- Desarrollar un material adecuado para la construcción en viviendas.
- Caracterizar la resistencia mecánica del material desarrollado.
- Caracterizar la resistencia térmica del material desarrollado

### **1.4 Justificación**

La utilización de materiales derivados de una producción como es la cosecha de banano ayudara al aprovechamiento total de lo que genera en desperdicios, como lo es el raquis de banano que es un desperdicio natural y no es usado en un segundo proceso. Estos desperdicios naturales pueden ser reprocesados y utilizados para otras actividades construcción.

La utilización de los materiales derivados de la producción de banano como el raquis, contribuye con el manejo de estos desechos de forma amigable con el ambiente ya que se los podrá reutilizar para la conformación de un material que pueda ser utilizado en la construcción de casas.

La materia prima para este material es reciclada de una primera producción, se estima que el costo de este será más accesible hacia las personas que desean

construir viviendas, al ser un producto reciclado reducirá el costo del material compuesto final.

### **1.5 Alcance**

Dentro del alcance del proyecto se encuentra el diseño de un material compuesto a partir de fibras naturales como es el raquis de banano, para ello se realizará la caracterización mecánica y térmica del material compuesto con fibra obtenida del raquis de banano, buscando la relación de composición y desempeño para la construcción de viviendas.

## 2 CAPÍTULO: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Descripción del proyecto

En base a las fibras que se extraen del raquis de banano de forma manual previo un proceso de secado se buscara varias combinaciones con un compuesto que servirá de matriz para desarrollar un material que pueda ser usado en la construcción de casa de tipo pre-construidas.

Las casas pre-construidas usan materiales hechos a base de fibras naturales como los tableros de MDF, son hechos con viruta reciclada de madera. Por lo anteriormente expuesto se buscará fuentes alternativas de donde se pueda extraer el raquis de banano. Una posibilidad son los mercados locales donde el comercio de banano es común y se genera como desperdicio, por lo tanto, contribuye con el reciclaje de este material.

Como el raquis de banano está compuesto por fibras vegetales se procederá a la deshidratación de este mediante la exposición a la luz solar hasta que se pueda extraer las fibras. Se busca de las fibras del raquis de banano como hilos delgados los cuales son manipulables y se lo extraen ya del raquis seco



**Figura 1. Fibras de raquis de banano**

**Fuente:** [www.asociaciondezamoranos.org](http://www.asociaciondezamoranos.org)

Ya con la fibra extraída se harán las respectivas combinaciones con el material que servirá como matriz con el cual se procede a variar los porcentajes de las mezclas hasta hallar una adecuada. Para saber cuál combinación es la ideal se realizaran pruebas de resistencia mecánica y conductividad térmica del material,

esto será realizado en el laboratorio de resistencia de materiales para las pruebas de resistencia mecánica y las pruebas de conductividad térmica serán realizadas en el laboratorio de termodinámica, mediante la tabulación de datos se concluirá cual es la combinación que ofrecerá las mejores propiedades.

## 2.2 Definición del problema

La gran cantidad de producción de banano de Ecuador genera varios desperdicios derivados de este proceso como lo es el raquis de esta fruta. Este derivado de la producción del banano es reutilizado en pocas cantidades en la producción del banano por lo que genera desperdicios hacia el medio ambiente. Esta materia prima se podría utilizar en el desarrollo de un material compuesto para casas de bajo costo tomando en cuenta que como materia prima el raquis de banano es barato, fácil de encontrar y se podría dar una alternativa a los diferentes materiales ya existentes que en muchos casos son de un costo inaccesible para la economía de varios hogares de la población del país.

## 2.3 Distribución y uso del banano en el Ecuador

El banano es una planta que se desarrolla en los climas tropicales, su nombre científico es *Mussa spp*, por lo general alcanza una altura entre 2 y 3 metros con un tronco de unos 200 mm de diámetro.



**Figura 2. Planta de banano**

**Fuente:** [www.monmomentum.com](http://www.monmomentum.com)

La industria bananera del Ecuador es uno de los principales generadores de producto de exportación del país, esto no solo ocurre en nuestro país ya que otros como Costa Rica, Filipinas, Colombia, Venezuela y República Dominicana también son unos importantes productores y exportadores de este fruto para todo el mundo.

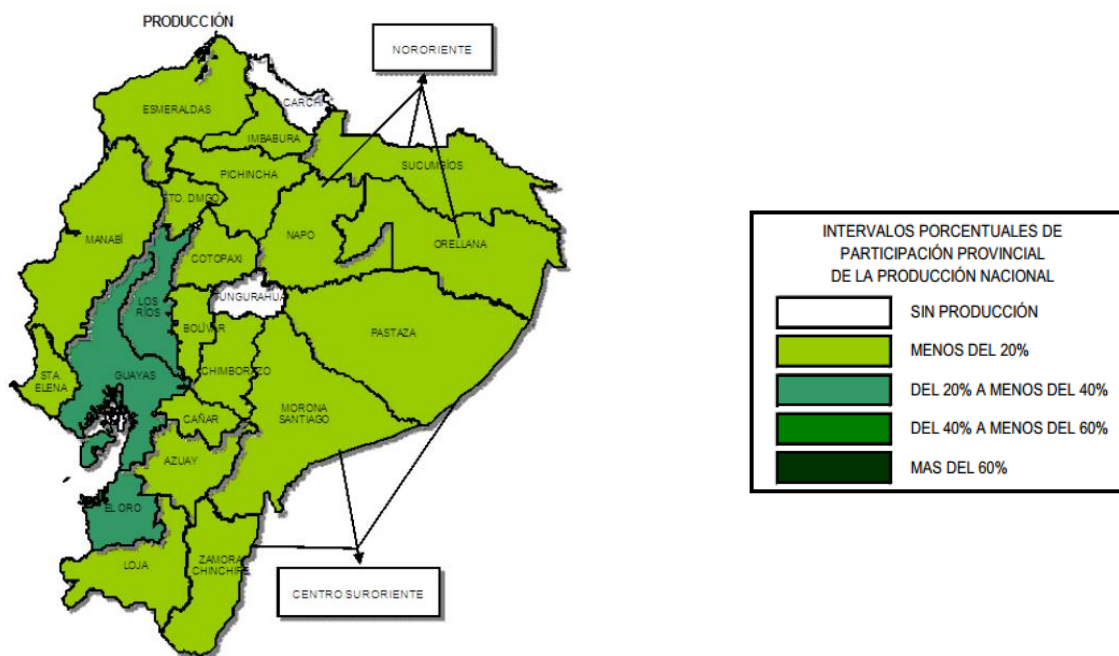
El banano cuyo origen se lo puede establecer en el sureste Asiático, lo conforman el pseudotallo, las hojas y el raquis. Esta planta no es aprovechada en su totalidad, alrededor del 12 % se puede comercializar, esto viene a ser el fruto de la planta y el restante es considerado como un desperdicio.

En 20 provincias del Ecuador se realiza la producción de banano, siendo la Región Costa la mayor productora con alrededor del 88% de toda la producción nacional, en la Región Sierra se produce alrededor del 9% y el resto de la producción se encuentra en la Región Oriente. En la Costa las provincias que son las líderes en producción son Los Ríos con un 36% y Guayas con un 33%. (Ruiz, 2012)

Cabe recalcar que se necesita de un clima cálido para que se pueda producir el banano, por lo tanto, en la Sierra las provincias en las que se poseen las condiciones para el desarrollo de esta planta están representadas en el Cañar que tiene un aporte el 4%, Bolívar con el 2% y Pichincha con el 1% de la producción nacional, las otras provincias aportan con un mínimo de la producción ya que las condiciones climáticas no son favorables para el desarrollo de esta planta. (Ruiz, 2012)

Con respecto a la producción de banano está representada en los pequeños productores con 22%, los medianos productores con un 57% y los grandes productores con un 21%. (Ruiz, 2012)

A continuación se presenta una gráfica con la cual se muestra la distribución de la producción de banano en el Ecuador y las principales zonas donde se concentra las principales aéreas sembradas de este producto.



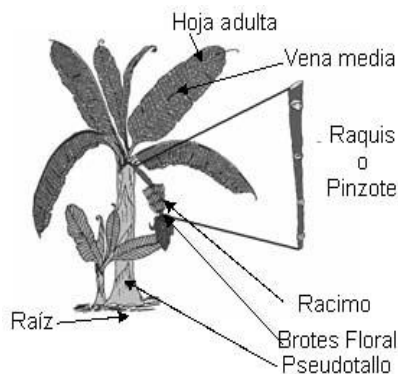
**Figura 3. Distribución de cultivo de banano**

**Fuente:** (Censos, 2009)

El banano en el Ecuador es uno de los principales productos de exportación por lo que el 91% de la producción nacional está destinada a ser transportada hacia el exterior y solo un 9% de la producción es para consumo interno. La tasa de crecimiento promedio de las exportaciones de banano en función del peso en toneladas es aproximadamente 4%. (Censos, 2009)

Se considera que el peso de una planta de banano en el momento que están listas para ser cosechadas es aproximadamente de 150 a 200 kilogramos y se encuentran distribuida de la siguiente forma: 23 kg al racimo, 3.25 kg al raquis ya luego de la tarea de desmane, 127 kg al conjunto de seudotallo (raquis), hojas y corona.





**Figura 4. Esquema de las partes de la planta de banano**

**Fuente:** Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel

## 2.4 Extracción de raquis de banano

Una vez que la planta alcanza el estado de desarrollo apropiado se procede a realizar un corte en forma de “V” a los lados del seudotallo (raquis) para que este pueda depositarse en el hombro del trabajador que debe cuidar que no se estropee el fruto, este lo transporta hasta el lugar de empaque donde un sistema de transporte por cables que lo llevan al área de cosecha. De aquí se van cosechando los frutos y empacándolos en cajas mientras que el racimo ya sin ningún fruto es bajado del sistema de transporte de cables, así el seudotallo (raquis) es depositado en el suelo para su descomposición y ser usado como abono para las plantaciones siguientes.



**Figura 5. Transporte de racimo de banano**

**Fuente:** [www.fao.org](http://www.fao.org)

A toda esta operación se la conoce como desmane que es la separación del tallo floral o raquis, por medio de cortes evitando maltratar la fruta, el corte se realiza de tal forma que se pueda conservar una cantidad adecuada de corona para que esta pueda mantener firmes los frutos que al madurar no se desprenderán fácilmente.

De esta forma el raquis de banano se lo desecha y solo una parte es usada como abono para las siguientes plantaciones, para la comercialización interna generalmente se envía todos los frutos sin desprenderlos del tallo a los diferentes mercados del país donde al terminar de vender el fruto el raquis queda como desperdicio y se lo envía a la basura.

Como se puede observar la obtención del raquis se lo puede hacer de manera fácil y gratuita en los diferentes mercados del país, si la necesidad es a gran escala se lo haría directamente con los productores en las fincas o haciendas para obtener un mayor volumen de este material.

## **2.5 Materiales compuestos**

Los materiales compuestos están formados por dos o más materiales distintos, que funcionan en conjunto para producir propiedades diferentes, y mejorar algunas características de los componentes individuales. Esto hace que su utilización cada vez sea mayor, principalmente en aquellas piezas en las que necesitamos propiedades combinadas que un solo material (polímero, metal o cerámico) por sí solo no nos puede brindar.

Con un mercado con creciente demanda por nuevos productos, las nuevas necesidades que surgen y las escasas reservas de recursos no renovables son nuevos problemas que por medio de nuevos materiales renovables y tecnologías limpias se pueden solucionar.

Para todo esto se ha venido desarrollando los biocompuestos, los cuales pueden estar conformados por la fibra natural y reforzada con materiales

poliméricos no biodegradables como el polipropileno (PP), polietileno (PE). Esto produce una combinación de propiedades de los distintos materiales con el fin de desarrollar nuevos materiales con propiedades mejoradas y que tienen su base en fuentes naturales.

El conocimiento que se tiene respecto a los materiales compuestos con fibras naturales es casi nulo, y sus ventajas son grandes, como su bajo peso, la producción de energía de baja potencia y la reducción del dióxido de carbono que contribuye con la reducción del efecto invernadero, las fibras naturales tienen propiedades mecánicas aceptables, baja densidad en comparación con otros componentes como lo son la fibra de vidrio y un precio bajo, por todo lo antes mencionado se hace importante proseguir con el estudio e investigación, de esta manera podremos ver su aplicabilidad en distintos sectores.

### **2.5.1 Definiciones técnicas**

Un material compuesto es una combinación integrada por una mezcla de dos o más micro o macro-constituyentes que difieren en forma y composición química y que deberían ser insolubles entre sí. Hay que aclarar la escala de longitudes para especificar donde se trata la microestructura (entre  $0.1 \mu\text{m}$  a  $100 \mu\text{m}$ ), y la macroestructura (son mayores a  $1\text{mm}$ ). El desarrollo de materiales compuestos a nivel ingenieril es de suma importancia ya que se combinan las propiedades y prestaciones de los materiales constituyentes.

La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos o más fases, una matriz continua que rodea a las demás fases que se denominan fases dispersas y que se clasifican en función de su microestructura o geometría. Cuando se dan las proporciones de material matriz y material disperso hay que tener en cuenta la relación en peso o en volumen ya que la densidad de esta fase puede ser muy diferente. Concentraciones de material fibroso dispersado en una matriz del 50% en volumen puede equivaler a una concentración muy diferente en % en peso.

En base a la naturaleza de la microestructura de la fase dispersa para la clasificación de los materiales compuestos se pueden establecer en tres grandes grupos:

- Compuestos reforzados con partículas.
- Compuestos reforzados con fibras.
- Compuestos estructurales.

Los materiales compuestos estructurales presentan una combinación de materiales homogéneos y las propiedades dependen más de la geometría del diseño de los elementos estructurales que de la naturaleza de los materiales constituyentes, estas capas de materiales suelen ser laminares o sándwiches. Existe otra clasificación de materiales compuestos en función a la naturaleza de su matriz:

- Compuestos de matriz metálica (MMC).
- Compuestos de matriz cerámica (CMC).
- Compuestos de matriz polimérica (PMC).

Además del refuerzo y la matriz existen otros tipos de componentes como aditivos que dotan a los materiales compuestos de características peculiares para cada tipo de fabricación y aplicación

#### **2.5.1.1 Materiales para matrices.**

Entre los materiales usados con más frecuencia están los siguientes:

- Polímeros termoplásticos: Polietileno, nylon, polipropileno, poliestireno poliamidas.
- Polímeros termofijos: Poliéster, epóxicos, fenólicos y polimida.
- Cerámicas y vidrio.
- Carbón y grafito.
- Metales: Aluminio, magnesio, titanio.

### 2.5.1.2 Materiales para refuerzos

Se utilizan muchas formas de “refuerzos” como:

- Hebra continúa de fibras, formadas por muchos filamentos individuales unidos entre sí.
- Hebras cortadas de longitudes pequeñas (de 0.75 a 0.50 mm).
- Hebras cortadas al azar en forma de estera.
- Madeja: un grupo de hebras paralelas.
- Tela tejida con madera o hebras.
- Filamentos o alambres de metal.
- Microesferas macizas o huecas.
- Hojuelas de metal, vidrio o mica.
- Hilos de monocristal, de materiales como grafito, carburo de silicio y cobre.

Para adaptar las propiedades de los materiales compuestos a las necesidades específicas de determinada aplicación hay muchas variables a controlar que determinan el funcionamiento del producto final:

- Resina o metal de la matriz.
- Tipo de fibras de refuerzo.
- Cantidad de fibra contenida en el material compuesto.
- Orientación de las fibras.
- Cantidad de capas que se usen.
- Espesor total del material.
- Orientación de las capas entre sí.
- Combinación de dos o más tipos de materiales compuestos u otros materiales en una estructura compuesta.

### 2.5.2 Materiales compuestos con fibras.

Esta rama de los materiales compuestos es la más conocida por su alta variedad existente en el mercado y sus variadas presentaciones mecánicas. La fase dispersa consta de fibras que forman una microestructura muy anisotrópica, hilos o cilindros de 2-10  $\mu\text{m}$  de diámetro y 1 mm de longitud. Por tanto, tienen una longitud tres órdenes de magnitud mayor que el diámetro. Mientras que el módulo de elasticidad no cambia con el tamaño del material, solo depende de la naturaleza de las fuerzas que unen los átomos, la resistencia mecánica si cambia con la forma de la muestra.

Las fibras presentan mejores prestaciones mecánicas porque la probabilidad de encontrar defectos disminuye y además se anclan en la matriz que rodea uniformemente a las 'fibrillas'. Por esto, desde el punto de vista de las propiedades mecánicas son aconsejables las fibras de diámetro lo menor posible. Sin embargo, por razones de coste y de seguridad se limita a 1  $\mu\text{m}$  de diámetro porque fibras menores (con longitudes también menores) son más caras y se pueden liberar en el mecanizado de las piezas originando partículas fibrosas en suspensión (como los asbestos) que pueden causar problemas de salud.

Las matrices poliméricas para los materiales compuestos reforzados con fibras suelen ser plásticos termoestables del tipo resinas de poliéster insaturadas o resinas epoxi. Las primeras fueron las que se comenzaron a utilizar hace unos 40 años, son más baratas, fáciles de maquinar, fáciles de curar a temperatura ambiente (aunque se pueden curar de forma acelerada a alta temperatura). Las resinas epoxi son ahora más comunes por las ventajas que presentan: mayor resistencia, menores modificaciones en la etapa de curado, mejor adherencia a las fibras, y se pueden utilizar a temperaturas más altas que las resinas de poliéster. Las resinas epoxi son la base de los materiales compuestos basados en fibra de carbono o de poliaramida.

### **2.5.3 Función de las fibras**

La fibra es el elemento reforzante ideal. Las propiedades mecánicas de cualquier material son superiores cuando ese material se presenta en forma de fibra. La presencia de defectos es dominante en la respuesta del material. Al disminuir el diámetro se aumenta la resistencia mecánica, ya que se está disminuyendo la posibilidad de encontrar un defecto de gran tamaño, por el que se inicie la rotura. Esto justifica que las fibras presenten propiedades superiores. También tiene mucha influencia la forma de fabricación de las fibras sintéticas y en el caso de las fibras naturales también depende del lugar de donde fueron extraídas.

Los enlaces químicos más fuertes conocidos corresponden al grafito y diamante y por tanto, los de mayores posibilidades como fibras. Las distintas variedades de fibras de carbono que se comercializan corresponden a distintos grados de conversión a grafito. Las fibras de vidrio en sus variedades normal (vidrio E) y de alta resistencia (S o R) será la de mayor consumo por su excelente relación resistencia/precio. Su bajo módulo de elástico es su principal limitación. Es un, material amorfo y de aspecto blanco, por dispersión de la luz.

### **2.5.4 Función de la matriz**

La matriz de un material compuesto soporta las fibras, manteniéndolas en su posición correcta: transfiere las cargas a las fibras fuertes, las protege de sufrir daños durante su manufactura y su uso, evitan la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto. La matriz por lo general, es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, como el comportamiento químico y el uso a temperatura elevada.

Las matrices poliméricas son muy comunes. La mayoría de los polímeros, tanto termoplásticos como termoestables, están disponibles en grados correspondientes a reforzamiento con fibras de vidrio cortas.

Los procesos de moldeos de láminas de compuestos (SMC) y de moldeo en volumen de (BBC) son típicos de esta clase de compuesto. Para aplicaciones algo rígidas. (Askelan, 1998)

Los compuestos de matriz cerámica combinan las principales características del material cerámico constituyente de la matriz, como sería la dureza, la resistencia a la compresión y la rigidez, persigue compensar aspectos menos representativos, como sería la fragilidad, con las propiedades de la segunda fase. Aunque los compuestos de matriz cerámica son los menos habituales, dentro de este grupo cabe destacar el hormigón como producto de gran consumo, de uso habitual y cotidiano, y quizás el compuesto de matriz cerámica más conocido. (Ballesteros, 2005)

#### **2.5.5 Biocomponentes de fibras naturales**

Actualmente, las fibras naturales, se han convertido en material de estudio y han adquirido gran importancia como consecuencia de la crisis del petróleo, las nuevas reglamentaciones ambientales, del desarrollo sostenible, de los productos verdes y de la reducción del gasto energético.

En general, las fibras naturales cuentan con una serie de propiedades que las convierten en una excelente alternativa para ser utilizadas como refuerzos en materiales compuestos con matriz polimérica. Estas fibras se caracterizan por:

- Ser un recurso renovable y biodegradable, por lo tanto su impacto ambiental es bajo.
- Tener un costo considerablemente bajo comparado con otras fibras de ingeniería como el Kevlar o la fibra de vidrio.
- Tener bajo peso.
- Tienen buen desempeño como aislante térmico y acústico.



- Presentar alta resistencia a la tensión.

Los refuerzos pueden ser fibras naturales como el algodón, el lino, el cáñamo o fibras procedentes del reciclado de la madera o del papel o incluso subproductos procedentes de cultivos agrícolas y las matrices pueden ser polímeros de origen renovable como los aceites vegetales o almidones.

Estos componentes pueden ser de dos tipos: los de cohesión y los de refuerzo. Los componentes de cohesión envuelven y unen los componentes de refuerzo (o simplemente refuerzos) manteniendo la rigidez y la posición de éstos. Los refuerzos confieren unas propiedades físicas al conjunto tal que mejoran las propiedades de cohesión y rigidez. Así, esta combinación de materiales le da al compuesto unas propiedades mecánicas notablemente superiores a las materias primas del que procede.

## **2.6 Características y clasificación de fibras naturales**

Las fibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas. Se doblan con facilidad y su propósito principal es la creación de tejidos. En la naturaleza, y con la única excepción de la seda, las fibras tienen una longitud limitada, que puede variar desde 1 mm, en el caso de los asbestos, hasta los 350 mm de algunas clases de lanas, y las llamamos fibras discontinuas. Químicamente podemos fabricar fibras de longitud indefinida, que resultarían similares al hilo producido en el capullo del gusano de seda y que denominamos filamentos; estos filamentos son susceptibles de ser cortados para asemejarse a las fibras naturales.

Las fibras naturales son aquellas fibras que como tales se encuentran en estado natural y que no exigen más que una ligera adecuación para ser hiladas y utilizadas como materia textil. En el Cuadro 1 se puede ver la clasificación.

Cuadro 1. Clasificación de las fibras naturales

<b>DE ORIGEN ANIMAL</b>	<b>De glándulas Sedosas</b>	<b>Seda</b>	Un filamento de seda es un hilo continuo de gran fuerza tensora que mide entre 500 y 1 500 metros de longitud, con un diámetro de 10 a 13 micras. En la seda tejida, la estructura triangular de la fibra actúa como un prisma que refracta la luz, dando al paño de seda su altamente estimado "brillo natural". Tiene buena absorción, baja conductividad y tiñe fácilmente.	
	<b>De folículo piloso</b>	<b>Lana</b>	<b>Pura lana virgen</b>	La lana tiene un ondulado natural y patrones de escala que la hacen fácil de hilar. Las telas hechas de lana tienen mayor grosor que otros textiles, proveen mejor aislamiento y son resilientes, elásticas y durables. El diámetro de la fibra está entre las 16 micras en la lana superfina del merino (similar a la cachemira) a más de 40 micras en lanas de pelos bastos.
			<b>Rica lana virgen</b>	
			<b>Lana regenerada</b>	
			<b>Lana peinada</b>	
			<b>Lana cardada</b>	
			<b>Lana clorada</b>	
	<b>Pelo</b>	<b>Alpaca</b>	La fibra de alpaca es parcialmente hueca, de 20 a 70 micras en diámetro y viene en 22 colores naturales. Es ligera, más fuerte que la lana de oveja y provee excelente aislamiento. Las alpacas Huacayo producen fibras suaves, densas y cortas, mientras que el vellón de la rara suri es brillante, sedoso y liso. La alpaca se mezcla bien con la lana, el mohair y la seda.	
		<b>Angora</b>	El sedoso pelo blanco del angora es una fibra hueca clasificada como lana. Con un diámetro de 14 a 16 micras, es una de las fibras animales más	


 Continua

			sedosas.
		<b>Camello</b>	La fina fibra que cae de un camello Bactriano, tiene un promedio de cerca de 20 micras de diámetro y su longitud varía de 2.5 a 12.5 cm. El pelo de la cría de camello, el cual puede medir tan poco como 16 micras (a la par con la fina cachemira), es el más suave y más valioso.
		<b>Cachemira</b>	Tiene un rizado natural, que permite que sea hilada en finos tejidos ligeros. La cachemira tiene pequeños espacios de aire entre las fibras, lo que la hace cálida y liviana, mientras que las células delgadas de la cutícula superficial la hacen más lisa y brillante.
		<b>Yak</b>	El diámetro del yak está entre las 23 micras en la primera esquila hasta las 38 micras en los animales más viejos. Luminosa y aislante, su fuerza de tensión es significativamente más alta que aquella de la lana de merino.
<b>DE ORIGEN VEGETAL</b>	<b>De semilla</b>	<b>Algodón</b>	El algodón es casi celulosa pura, con suavidad y permeabilidad al aire que lo han hecho la fibra natural más popular del mundo. El largo de la fibra varía de 10 a 65 milímetros y el diámetro de 1 a 22 micras.
	<b>De tallo</b>	<b>Lino</b>	Como el algodón, la fibra de lino es un polímero de celulosa, pero su estructura es más cristalina haciéndola más fuerte, rizada y rígida para manejar, y más fácilmente arrugable. El rango de las fibras de lino en longitud es de hasta 90 cm y de un promedio de 12 a 16 micras de diámetro.
		<b>Cáñamo</b>	Largas, fuertes y durables, las fibras de cáñamo son cerca del 70% de celulosa y contienen bajos niveles de lignina (alrededor de 8 a 10%). El


 Continua

			diámetro de la fibra está entre 16 y 50 micras.
		<b>Yute</b>	Llamada la "fibra dorada", el yute es larga, suave y brillante, con una longitud de 1 a 4 metros y un diámetro de entre 17 a 20 micras. Es una de las fibras naturales vegetales más fuertes y sólo está en segundo lugar con el algodón en términos de cantidad de producción.
		<b>Ramio</b>	La fibra de ramio es blanca con un brillo sedoso, similar al lino en absorción y densidad, pero más basta (25 a 30 micras). Una de las fibras naturales más Fuertes, tiene baja elasticidad y tiñe fácilmente. Las virutas de ramio están cerca de los 190 centímetros de longitud, con células individuales tan largas como de 40 centímetros.
<b>De hoja</b>		<b>Abacá</b>	Abacá es una fibra de hoja, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. El contenido de lignina está por encima del 15%. El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada, y por el largo de su fibra - más de 3 metros.
		<b>Sisal</b>	Brillante y de un blanco cremoso, la fibra de <b>sisal</b> mide cerca de 1 metro de longitud, con un diámetro de 200 a 400 micras. Es una fibra basta, dura e inadecuada para textiles o telas. Pero es fuerte, durable y alargable, no absorbe humedad fácilmente, resiste el deterioro del agua salada, y tiene una textura superficial fina que acepta una amplia gama de teñidos.

**Fuente:** (RedTextil, s.f.)

### 2.6.1 Propiedades de la fibra de raquis

Para tener una idea general de la composición y las propiedades del raquis de banano de esta forma poder entender mejor su funcionamiento al momento de unirse con el material matriz se ha investigado algunas características.

### 2.6.2 Propiedades físicas

El raquis de banano es una ramificación central que sirve de soporte a los frutos de la planta, del que solo se produce uno por planta. Tienen una composición química diferente a la pulpa y la cáscara en todos sus componentes menos en almidón, lo que permite pensar que es un producto comestible portador de fibra, vitamina y minerales. La estructura anatómica del raquis se compone de:

#### Cuadro 2. Características anatómicas del raquis de banano

<b>Elementos</b>	<b>Forma</b>	<b>Función</b>
Fibra	Alargada, extremo cerrado, lumen pequeño, pared gruesa.	Sustentación ( mecánica)
Vaso	Extremo abierto, paredes finas con puntuaciones.	Conducción de savia (bruta o ascendente) de la raíz a la copa.
Párenquima	Células achatadas o un poco alargadas pequeñas, de paredes finas con puntuaciones.	Almacenamiento de compuesto, reserva de almidón.
Fibrotraqueida	Largas, anchas, extremo cerrado, 3,4 o más mm de longitud. Las puntuaciones ocupan 90% del volumen de madera.	Sustentación mecánica y transporte de savia de la raíz a la copa.

**Fuente:** (Arrata, 2014)

## 2.7 Características del cemento

En el país actualmente se encuentra regulada la fabricación de cemento Portland puzolánico en los tipos IP y IPM, de acuerdo a los requisitos a cumplir según lo establece la Norma INEN 490. Se denomina como Cemento Portland, al cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker, consistente esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos, contenido usualmente uno o más de las formas de sulfato de calcio como adición de molienda. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490, 2005)

Cemento Pórtland Puzolánico (tipo IP), será “consistente en una mezcla íntima y uniforme de cemento pórtland o cemento pórtland de escoria de altos hornos y puzolana fina, producida sea por molienda de clinker de cemento pórtland y puzolana, por mezcla de cemento pórtland o cemento pórtland de escoria de altos hornos y puzolana finamente dividida, o una combinación de molienda y mezcla, en la cual el constituyente puzolana está entre el 15% y el 40% en masa del cemento pórtland puzolánico”. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490, 2005)

Cemento Pórtland Puzolánico modificado (tipo IPM), es “Una mezcla íntima y uniforme de cemento pórtland o cemento Pórtland de escoria de altos hornos y puzolana fina, producida por molienda de clinker de cemento pórtland y puzolana, mezcla de cemento pórtland o cemento pórtland de escoria de altos hornos y puzolana finamente dividida, o una combinación de molienda y mezcla, en la cual el constituyente puzolana es menor que el 15% en una masa del cemento pórtland puzolánico modificado” (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490, 2005)

De acuerdo a la Norma INEN 490 se contemplan los siguientes requisitos de calidad para los dos tipos de cemento.

Tabla 1.

**Características cemento portland**

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	MÁXIMO	MÍNIMO
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	Minutos		45
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL	Minutos	420	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		Mpa	
EDAD DE 3 DÍAS		13	
EDAD DE 7 DÍAS		20	
EDAD DE 28 DÍAS		<b>25</b>	

(INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490:2005, 2005)

Los cementos se pueden definir como adhesivos naturales o artificiales, con las que se puede realizar una masa plástica, que son capaces de unir entre sí a los fragmentos o masas de materiales sólidos con una distribución granulométrica determinada, que generalmente recibe el nombre de agregado, formando un conjunto compacto. Asimismo con la masa plástica de cemento puede unirse a distintas piezas entre sí, realizarse recubrimientos, enlucir, realizar reparaciones, etc. La unión se produce mediante endurecimiento del cemento desde el estado plástico.

La definición anterior incluye o abarca a un gran número de sustancias muy diferentes entre sí, que tienen poco en común excepto su adhesividad. Así se tienen cementos inorgánicos y orgánicos. Además la importancia científica y técnica de los diferentes tipos de cementos es muy desigual, lo que ha dado lugar a una restricción de la definición de cemento hacia un grupo de sustancias adhesivas, que son las masas plásticas empleadas para producir la adhesión entre rocas clasificadas entre Arenilla, gravilla y Arena, ladrillos etc., que es la práctica que se usa en la construcción de edificios e ingeniería.

Los cementos de esta clase también tienen en común ciertas relaciones químicas, ya que están formados por mezclas que poseen compuestos de cal como parte de su constitución principal. El término “Cemento” en ese sentido más restrictivo llega a ser equivalente al término “Cementos calcáreos”, aunque estos también estén conformados por algunos compuestos de magnesio. (Alvarez, s.f.)

## **2.8 Elementos constructivos elaborados con adición de fibras naturales**

Actualmente, se utilizan más materiales reforzados con fibras que sean más económicas y de menor impacto medioambiental. Para ello, se están reforzando muchos polímeros con fibras provenientes de productos naturales como el lino o la fibra de coco: utilizándose más en la industria del automóvil donde según una directriz de la UE para el 2015 el 95% de la masa de un coche debe ser reutilizable. Además, si las fibras de refuerzo provienen de vegetales, el impacto medioambiental total en la fabricación de las piezas es mucho menor. Se está dedicando muchos esfuerzos de investigación en la fabricación de materiales compuestos completamente “ecológicos”. (Stupenego, 2011)

El uso de materiales compuestos con fibras naturales puede dividirse en varios grupos. El primero de ellos está conformado por las aplicaciones de fibra natural en paneles como tableros de partículas, fibras y aislamiento con un material aglutinante orgánico como la lignina y el tanino, el segundo grupo es el uso de la fibra natural unida con material aglutinante inorgánico, el tercer grupo es el uso de fibras naturales como refuerzos en matrices poliméricas como termoplásticos, termoestables y cauchos.

Las fibras naturales pueden ser usadas con resinas sintéticas termoestables, termoplásticas y elastoméricas, además se pueden combinar polímeros naturales como lignina y hemicelulosa resultando un compuesto totalmente biodegradable. Las fibras naturales empleadas como refuerzo de compuesto poliméricos necesitan ser homogéneas, tal homogeneidad depende de la forma del cultivo y



de la cosecha ya que los tiempos del cultivo son indispensables en algunas especies para garantizar la calidad de su composición química.

La alta variación de las propiedades de los compuestos reforzados con fibras naturales depende de las propiedades físicas presentes en las fibras, lo que genera incertidumbre en el desempeño de varios compuestos por la falta de información acerca de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

### **2.8.1 Características y requerimientos de los elementos constructivos**

La característica de los materiales compuestos abarca las propiedades combinadas para obtener un material con propiedades físicas y químicas mejoradas como la ductilidad, resistencia térmica, impermeabilidad, resistencia a la corrosión, etc.

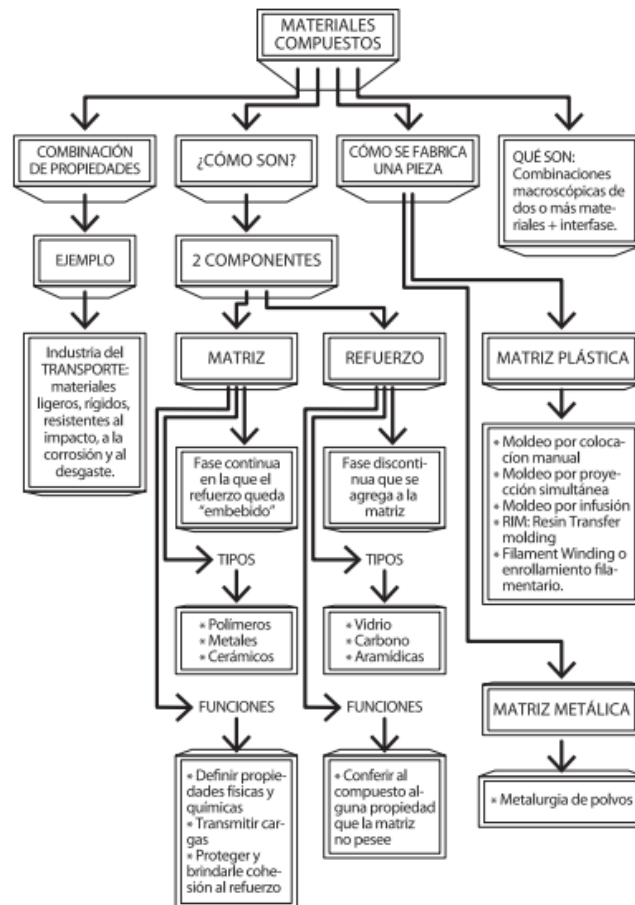


Figura 6. Descripción de los materiales compuestos

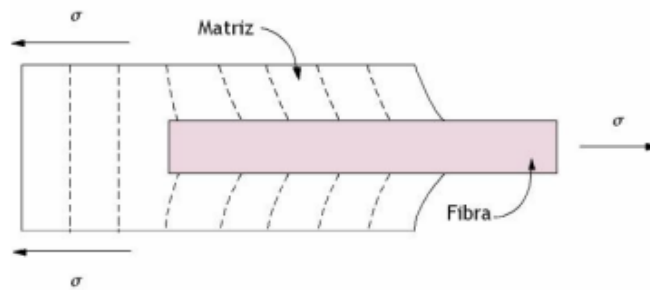
Fuente: (Stupenego, 2011)

### 2.8.2 Propiedades mecánicas de los materiales compuestos

El refuerzo puede ser en forma de partículas o fibras. Como regla general, es más efectivo cuanto menor tamaño tienen las partículas y más homogéneamente distribuidas están en la matriz o cuando se incrementa la relación longitud/diámetro de la fibra. Si bien, los materiales de refuerzo pueden presentarse en forma de partícula en un amplio grupo de materiales compuestos, los más numerosos y ampliamente utilizados son aquellos reforzados con fibra. En

la mayoría de los compuestos reforzados con fibras, estas son resistentes, rígidas y de poco peso. (Stupenego, 2011)

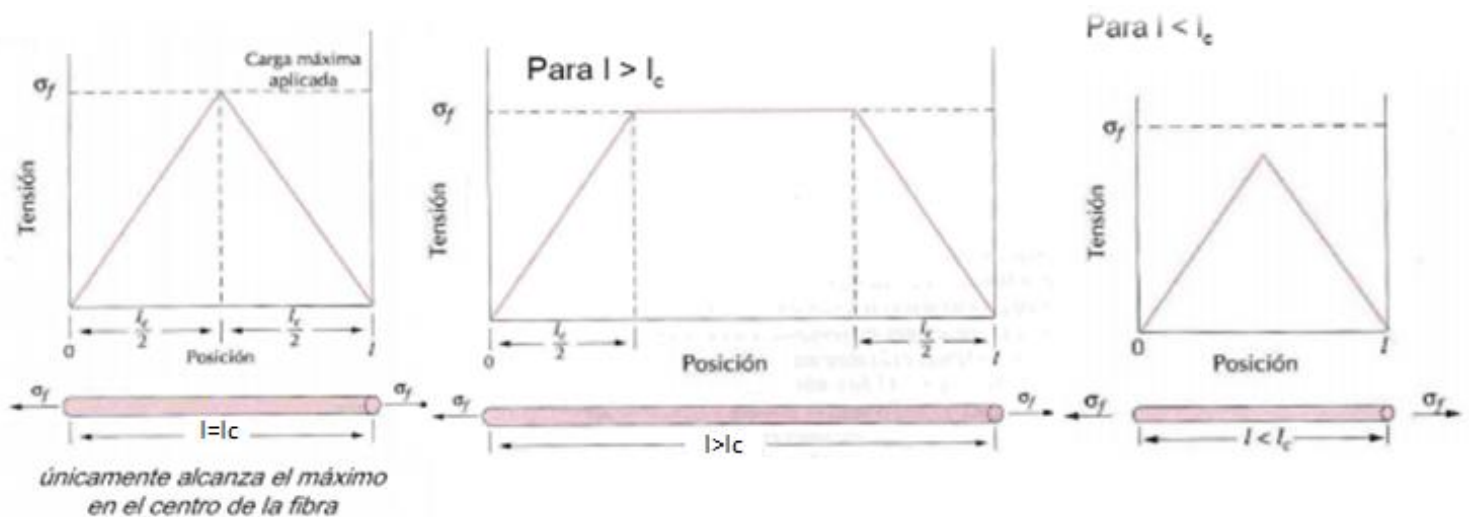
Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no solo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En ese proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión de la interfaz de las fases matriz fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación, en otras palabras en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.



**Figura 7. Patrón de deformación de una matriz que rodea a una fibra sometida a tracción**

**Fuente:** (Moral Borque & Noriega Lopez, 2007)

Existe una longitud crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del material compuesto. Esta longitud crítica  $l_c$  depende del diámetro  $d$  de la fibra, de la



resistencia a tracción  $\sigma_t$  y de la resistencia de la unión matriz-fibra (o resistencia al cizalle de la matriz). Las fibras con  $l > l_c$  (normalmente  $l > 15 l_c$ ) se denominan continuas; y las fibras de menor longitud se denominan discontinuas o fibras cortas. En las fibras continuas de longitud significativamente menor que  $l_c$ , la matriz se deforma alrededor de la fibra de modo que apenas existe transferencia del esfuerzo y el efecto del reforzamiento de la fibra es insignificante.

### Figura 8. Relación de longitudes

**Fuente:** (Moral Borque & Noriega Lopez, 2007)

$$l_c = \frac{\sigma_t d}{2\tau_c}$$

Donde:

- $l_c$  : Longitud crítica.
- $\sigma_t$ : Resistencia a la tracción de la fibra.
- $d$ : Diámetro de la fibra.
- $\tau_c$ : Resistencia de la unión fibra matriz.

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas:

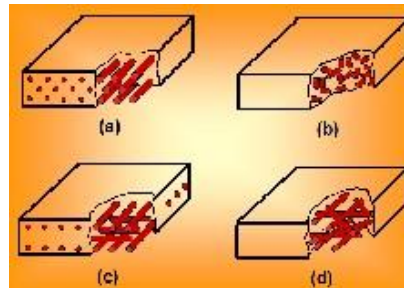
- Alineación paralela a los ejes longitudinales de las fibras.
- Alineación al azar.

Las fibras normalmente se alinean, mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear o bien se pueden orientar al azar, o alinearse parcialmente.

Cuando los materiales compuestos tienen fibras orientadas al azar, estas suelen ser discontinuas y cortas. El modulo elástico de los materiales reforzados,

tanto si las fibras están alineadas como si están orientados al azar, aumenta al incrementarse la fracción de volumen de la fibra.

Estos compuestos pueden mejorar algunos aspectos como la resistencia, carga a la rotura, la rigidez, la relación resistencia/peso, por la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles. El material en la matriz transmite los esfuerzos de las fibras proporcionando tenacidad y ductilidad al compuesto, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza o tensión aplicada. Los materiales de refuerzo presentan diferente morfología con orientaciones que varían (Figura 9). (Valecia, 2015)



**Figura 9. Morfologías de compuestos reforzados con fibras**

(Valecia, 2015)

La resistencia de un compuesto va a depender de la unión entre la fibra y la matriz, es decir de su interfase, puesto que se encuentra limitada especialmente por la deformación de la matriz, por lo que el valor calculado es siempre más bajo que el calculado por la regla de las mezclas. Otras propiedades como ductilidad, tenacidad, resistencia a fatiga y fluencia son más difíciles de predecir. Al igual que sucede con las fibras discontinuas. Existe una gran cantidad de factores que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar y diseñar con materiales compuestos reforzados con fibras:

- **Relación de aspecto.** Las fibras continuas, que proporcionan mayores resistencias, son a menudo difíciles de introducir en el material, mientras

que las discontinuas son más fáciles, mayor relación de aspecto, produciendo también alta resistencia.

- **Fracción volumétrica de fibras.** Una mayor fracción volumétrica de fibras aumenta la resistencia, situándose el límite superior en el 80%, por la posibilidad de rodear las fibras con el material que hace de matriz.
- **Orientación de las fibras.** Las fibras unidireccionales presentan resistencia máxima cuando la carga aplicada es paralela a las fibras, sin embargo las propiedades son muy anisotrópicas. Por ello, se suelen usar fibras dispuestas en forma de tejido, capas cruzadas, sacrificando la máxima resistencia con propiedades uniformes en el compuesto.
- **Propiedades de las fibras** El material de las fibras debe ser fuerte, rígido, ligero y tener elevada temperatura de fusión. Se prefieren materiales con elevados módulos y resistencia específicos.

(Valecia, 2015)

Para poder predecir la unión entre fibra y matriz se asume que es una unión fuerte y para cargas paralelas al eje de las fibras se inicia con la siguiente afirmación:

$$F_c = F_m + F_f$$

- $F_c$  : Cargas soportadas por el compuesto.
- $F_m$  : Cargas soportadas por la matriz.
- $F_f$  : Cargas soportadas por la fibra.

Si esto se lo expone en forma de resistencia:

$$\text{Si } \sigma = \frac{F}{A}$$

- F : Carga (fuerza aplicada)
- A : Sección resistente del material

$$\sigma_c A_c = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f$$

Se divide por el área de sección del compuesto  $A_c$  y se convierte en:

$$\sigma_c = \sigma_m \frac{A_m}{A_c} + \sigma_f \frac{A_f}{A_c}$$

- $\frac{A_m}{A_c}$ : fracción del área de la matriz.
- $\frac{A_f}{A_c}$ : fracción del área de la fibra.

Si las longitudes del compuesto, de la matriz y de la fibra son iguales, entonces:

- $\frac{A_m}{A_c}$ : será equivalente a la fracción volumétrica de la matriz  $FV_m$ .
- $\frac{A_f}{A_c}$ : será equivalente a la fracción volumétrica de las fibras  $FV_f$ .

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot FV_m + \sigma_f \cdot FV_f$$

Se ha partido de la hipótesis en que la deformación de las fibras y de la matriz es la misma,  $\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_f$  se puede escribir la ecuación como:

$$\frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \frac{\sigma_m}{\varepsilon_m} V_m + \frac{\sigma_f}{\varepsilon_f} V_f$$

Para el módulo de elasticidad se tiene que  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$  la ecuación queda de la siguiente forma:

$$E_c = E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f$$

(Callister & William, 2009)

## **2.9 Dosificación de cemento en volumen**

Se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 2) una serie de dosificaciones, son de fácil aplicación y cómodas para pequeñas obras donde no se cuenta con los medios adecuados por lo que se eligió hacerlo de forma manual. Se encuentran los valores para poder calcular de manera sencilla los materiales necesarios para la confección de una mezcla para hormigones y sus diferentes aplicaciones.



Tabla 2.

Cualidades para la confección de 1m<sup>3</sup> de hormigón en volumen

Dosificación o riqueza de cemento por metro cúbico de concreto (kg/m <sup>3</sup> )	Proporciones			Litros			Usos y empleos preferentes del hormigón
	Cemento	Arena	Grava	Cemento	Arena	Grava	
<b>100</b>	1	6	12	75	450	900	Rellenos
<b>150</b>	1	4	8	110	440	880	Zanjas, cimientos, grandes espesores
<b>200</b>	1	3	6	145	435	870	Muros de contención, pozos de cimentación
<b>250</b>	1	2,5	5	170	425	850	Pilares, soportes y prefabricados corrientes, pavimentos
<b>300</b>	1	2	4	207	415	830	Hormigones armados., muros especiales
<b>350</b>	1	2	3	240	480	720	Hormigones para estructuras, pilares, vigas
<b>400</b>	1	1,5	3	263	395	790	Forjados delgados, piezas a fatiga
<b>450</b>	1	1,5	2,5	290	435	725	Prefabricados especiales
<b>500</b>	1	1	2	360	360	730	Trabajos y obras muy especiales de gran control.

Fuente: (Martinez, Hormigones Laminados, 2011)

### **3 CAPÍTULO. DESARROLLO DEL MATERIAL**

#### **3.1 Parámetros de diseño**

Se tomó en cuenta los aspectos necesarios vistos en el capítulo anterior para garantizar el diseño de un material útil para ser implementado en viviendas.

La utilización del raquis de banano fue la parte primordial para el desarrollo de esta tesis, para lo cual se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- La variación de la longitud de la fibra.
- El porcentaje en volumen que se incluya en el material matriz, se busca llegar a un punto de equilibrio entre la resistencia, y el espesor.

También se tomará en cuenta las condiciones del lugar porque se busca utilizar este material compuesto en los techos de las viviendas en forma de planchas onduladas (tejas de gran medida), por lo que la resistencia a la flexión del material deberá ser comprobada para garantizar un correcto comportamiento al momento de entrar en servicio.

##### **3.1.1 Condiciones del lugar.**

El sector en donde se desarrolla la producción de banano en el Ecuador es principalmente en la Región Costa, donde se encuentran la mayor cantidad de plantaciones, por lo que se puede decir que este es el principal lugar de incidencia del material. Las condiciones ambientales más extremas que tendría que soportar son:

- Clima tropical de monzón.- Se extiende desde la ciudad de Esmeraldas hasta el golfo de Guayaquil. Las precipitaciones en esta región son de 1000 mm y 2000 mm que ocurren principalmente en los meses de diciembre y mayo. La característica en esta zonas es una selva densa con son una vegetación densa cuya temperatura será de entre los 23 a los 27 °C.

- Clima mesotérmico.- se presenta en las vertientes occidentales y orientales de la cordillera de los Andes. Es un cambio climático entre la región sierra y las dos regiones que la limitan. Se da en altitudes de 500 y 1500 metros, los niveles de lluvia anuales son de 2000 mm a 4000 mm y la lluvia es constante, creando una sola estación lluviosa. La temperatura varía según la altitud. (CIIFEN/INAMI/INOCAR, 2007)

Se tiene un clima generalmente caliente en toda la costa ecuatoriana, con zonas marcadas en el año por lluvias, todo esto se tomó en cuenta para el desarrollo del material.

### **3.2 Elaboración del material compuesto**

Para la elaboración del material compuesto se siguió varios procesos que sirvieron para la elaboración del material y fueron:

- Obtención y caracterización de la fibra de raquis.
- Elaboración de moldes.
- Obtención de una mezcla aceptable entre matriz y fibras naturales.
- Caracterización del material compuesto.

#### **3.2.1 Obtención de las fibras de raquis de banano**

La obtención de las fibras de raquis de banano se hizo a través de los mercados o restaurantes donde lo adquieren para consumo y comercio, por lo tanto se genera el desperdicio del raquis que es arrojado a los tachos de basura.

Después de obtener el raquis de banano se lo deja como un solo cuerpo quitándole las pequeñas rebabas que le quedan y se lo deja como un cuerpo casi uniforme.



**Figura 10. Raquis de banano sin rebabas y fibras extraídas**

Para el proceso de secado se de los deja en un lugar seco donde la acción de sol se encargue de ir secando al raquis de banano hasta quedar completamente deshidratado.

A continuación se procede a sacar las fibras de los tallos secos con un cuchillo o una sierra para obtener las fibras del tamaño deseado, según la aplicación (Figura 10).

Otra forma de poder obtener las fibras fue mediante una máquina de extracción de fibras de seudotallo ubicada en el laboratorio de manufactura de la EPN (Figura 11) que permite sacar las fibras del material sin necesidad de secar el tallo, de esta obtuvimos fibras más uniformes y de mayor longitud que con el procedimiento anterior. De esta forma se pudo seguir experimentando con más variación de volúmenes y diámetros de fibra para el desarrollo del material.



**Figura 11. Desfibradora de hojas y seudotallo**

### 3.2.2 Peso de las fibras de raquis de banano

Para empezar con el proceso de búsqueda del porcentaje óptimo entre la matriz y las fibras, se realizó un estudio de estas porque no se posee mucha información con la que podamos empezar el análisis para el material compuesto.

Se pesó fibras de raquis de banano en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.



**Figura 12. Balanza digital**

#### 3.2.2.1 Característica del equipo

Para la realización de las pruebas de pesaje se utilizó el equipo del laboratorio de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE el cual posee las siguientes características.

Descripción del equipo: Modelo XB 220A

Capacidad: 220 gr

Legibilidad: 0.1 mg

Repetibilidad: 0.1 mg

Tiempo de respuesta: 4 s

### 3.2.2.2 Desarrollo de la medición

Primero se tomó muestras de fibras para poder pesarlas y hallar su densidad, se tomaron cinco muestras de diez milímetros de longitud y un milímetro de diámetro las cuales fueron pesadas en una balanza digital con lo cual se obtuvo los siguientes datos (Tabla 3).

**Tabla 3.**

#### Peso de muestras de fibras de banano

PESOS DE FIBRAS DE BANANO	
MUESTRA	g
1	0,0015
2	0,0017
3	0,0019
4	0,0017
5	0,0014

De estos resultados se obtendrá un promedio con el cual se puede trabajar para sacar una densidad estimada de las fibras de banano, para lo cual se realizan los siguientes cálculos.

$$V = A * L \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$V = \pi * r^2 * L$$

$$V = \pi * (1/2 \text{ mm})^2 * (10 \text{ mm})$$

$$V = 7,85 \text{ mm}^3$$

$$d = \frac{m}{V} \quad (\text{Ecuación 2})$$

La masa que se ingresa aquí es la que sacamos de promedio de los datos tomados en el laboratorio.

$$d = \frac{0.0015 \text{ g}}{7,85 \text{ mm}^3}$$

$$d = 1,91 * 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$$

Se realizó el análisis con el coeficiente de variación para las muestras, donde se encontró que es el 11%, por lo tanto se buscó un método alternativo con el cual se llegue a confirmar o negar el valor de la densidad encontrada.

Uno de los principales problemas que se encontró fue la medición exacta del volumen ya que tenemos superficies irregulares, por lo tanto se utilizó el método de desplazamiento de volumen.

Para el desarrollo de este método se necesitó un recipiente numerado, una muestra de raquis de banano y agua, consiste en introducir una muestra de raquis de banano en el recipiente numerado y con un nivel de agua necesario para que se pueda introducir por completo la muestra, al introducirla en su totalidad desplazará una cantidad de líquido que pudo ser medido, esta es una forma confiable de obtener el volumen de un cuerpo irregular de una forma sencilla. De esta forma se obtuvo con mayor exactitud el volumen, pesamos la muestra en una balanza digital con lo cual se obtuvo la masa del material y de esta forma se obtiene un valor confiable de la densidad del raquis de banano.

#### Tabla 4.

**Datos para los cálculos de volumen por desplazamiento de líquido y para la densidad.**

<b>DATOS PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN Y DENSIDAD</b>	
h1 (mm)	21
h2 (mm)	29
Diámetro (mm)	97
masa (g)	12,2

Los datos de h1 y h2 son los tomados como altura al desplazar el volumen del líquido de aquí como era un recipiente circular se calculó su volumen.

$$V = A * L$$

### Ecuación 1. Volumen

$$V = \pi * r^2 * (h_2 - h_1)$$

$$V = \pi * \left(\frac{97}{2} \text{ mm}\right)^2 * (0,8 \text{ mm})$$

$$V = 59118,49 \text{ mm}^3$$



**Figura 13. Medición del peso para raquis de banano**

De aquí con la Ecuación 2 procedemos a calcular la densidad del raquis de banano.

$$d = \frac{m}{V}$$

### Ecuación 2. Densidad

$$d = \frac{12,2 \text{ g}}{51728,68 \text{ mm}^3}$$

$$d = 2,06 * 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}$$



### 3.2.3 Ensayo de tracción de las fibras

Se realizó pruebas de ensayos de tracción de un conjunto de fibras para determinar el esfuerzo máximo al que pueden resistir, esto se lo realizo en el Laboratorio de Mecánica de Materiales con la máquina de tracción horizontal.

Para realizar con este ensayo se preparó muestras de 3 mm de diámetro y de 100 mm de longitud, la muestra de raquis seca durante 3 meses fue a la que se le realizaron los ensayos, se removió los restos que estorbaban hasta dejar el raquis limpio, a continuación se buscó una parte recta donde se midió y se cortó de la longitud que se necesitaba. Para lograr llegar al diámetro se empezó a sacar las fibras con un cuchillo hasta dejarlo de un diámetro uniforme, esto siempre confirmándolo con un calibrador.

#### 3.2.3.1 Características del equipo

Se necesitó hacer pruebas de carga para poder evaluar el desempeño de las fibras que se usaron en un material compuesto, se utilizó el equipo que se tiene a disposición en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



**Figura 14. Máquina de ensayos a tracción**

Descripción del equipo:

Máquina para ensayos de Tracción Horizontal Amsler.

Capacidad Máxima: 200 Kg.

### 3.2.3.2 Desarrollo de la medición

Por ser un material no tan resistente se calibró la máquina con la pesa de 20 Kg para aplicarle una fuerza con la cual se calcula que se puede llegar a su rotura, se coloca papel milimetrado en el rodillo de la máquina en el cual se describirá el comportamiento de la fuerza en la fibra mediante una gráfica. Se aplicó este procedimiento a cinco muestras por la dificultad de obtener muestras de un diámetro uniforme, se aplicó este procedimiento a muestras de diámetro de tres milímetros.



**Figura 15. Muestra de raquis de banano para ensayos de tracción**

Se contaran los cuadros que avanzo en el papel milimetrado y a este número se multiplicara por 0.2 para poder tener la escala real de la fuerza que se aplicó en las fibras.



**Figura 16. Fibra de banano a tracción**

La deformación se obtuvo en escala 1:1 con lo que el avance en el papel representa la deformación de la fibra, por lo tanto se puede obtener las gráficas que describen el comportamiento de las fibras de raquis de banano, estos resultados se ven en el capítulo resultados y análisis (Tabla 16).

### 3.3 Elaboración de moldes

Para realizar los diferentes ensayos se procedió a elaborar moldes con los cuales se obtendrá la forma deseada de la probeta.

#### 3.3.1 Moldes para ensayos a compresión

El procedimiento para la elaboración de los moldes a compresión se basó en la norma (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 488, 2009), aquí se puede encontrar las medidas requeridas para los moldes a compresión (Anexo A).



**Figura 17. Moldes para ensayos de compresión**

#### 3.3.2 Moldes para ensayos a flexión

El procedimiento para la elaboración de los moldes para los ensayos de flexión se basó en la norma (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 198, 1987), aquí se puede encontrar las medidas requeridas para los moldes a flexión (Anexo B).



**Figura 18 Moldes para ensayos a compresión**

### 3.3.3 Moldes para ensayos de conductividad térmica

El procedimiento para la elaboración de los moldes para los ensayos de conductividad térmica se los realizo según (Casquete, 2015).



**Figura 19. Moldes para los ensayos de conductividad térmica**

### 3.4 Elaboración de probetas para los ensayos de compresión, flexión y conductividad térmica

Para la elaboración de las probetas se utilizaron los moldes antes mencionados y según las especificaciones de la norma (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2518, 2010), se utilizó un recipiente cilíndrico (Figura 17) y una balanza, con esto se logró medir la cantidad de material necesario para la mezcla de acuerdo a las dosificaciones expuestas en la tabla (Tabla 2) más los porcentajes de raquis en forma experimental.



**Figura 20. Recipiente utilizado para la medida de materiales**

El material compuesto se procedió a colocar poco a poco en los moldes para eliminar las burbujas de aire o vacío y al final se quitara el exceso de material para que quede de las medidas especificadas.



**Figura 21. Llenado de moldes con material compuesto**

### **3.5 Material utilizado en las probetas para los ensayos a compresión, flexión y conductividad térmica**

Se experimentó con distintas proporciones de cemento, arena, agua y fibras de raquis de banano, todo esto basados en la norma (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 488, 2009) hasta llegar a la relación en volúmenes más adecuada para hacer las probetas las cuales fueron 1 porción de cemento, 3 porciones de arena, 1 porción de agua y el raquis fue el que se varió desde 5% hasta 15% de una porción.

#### **3.5.1 Materiales para las probetas de ensayos a compresión**

Para poder empezar hacer las mezclas de los materiales se calculó la longitud crítica de la fibra con la cual se puede realizar las probetas, se usa la siguiente fórmula:

$$l_c = \frac{\sigma_t d}{2\tau_c}$$

#### **Ecuación 3. Longitud crítica de la fibra.**

Donde:

- $l_c$  : Longitud crítica.
- $\sigma_t$ : Resistencia a la tracción de la fibra.
- $d$ : Diámetro de la fibra.
- $\tau_c$ : Resistencia de la unión fibra matriz

Para  $\tau_c$  se lo calculó mediante el 20% de la resistencia a la compresión del cemento:

$$\tau_c = 0.2 * P$$

#### Ecuación 4. Esfuerzo cortante

- P: Resistencia a la compresión del concreto en Mpa.

$$\tau_c = 0,2 * 6,65$$

$$\tau_c = 1,33 \text{ Mpa}$$

$$l_c = \frac{11,65 * 1}{2 * 1,33}$$

$$l_c = 4,38 \text{ mm}$$

Por lo tanto las fibras superiores a 4,38 mm son con las cuales se puede desarrollar las mezclas ya que superan la longitud crítica.

Se observa con más claridad en las (Tablas 5, 6, 7 y 8) la relación en porcentaje que se realizó para poder llegar a un porcentaje adecuado para la elaboración de probetas.

**Tabla 5.**

**Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 0% de raquis.**

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	567,06 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	1701,18 $cm^3$	60 %
<b>Fibra</b>	0 $cm^3$	0 %
<b>Agua</b>	567,06 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		20 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		229 g
Volumen del material compuesto :		125 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,83 $\frac{gr}{cm^3}$

Tabla 6.

Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 5% de raquis.

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	567,06 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	1559,41 $cm^3$	55 %
<b>Fibra</b>	141,76 $cm^3$	5 %
<b>Agua</b>	567,06 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		20 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		223 g
Volumen del material compuesto :		125 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,78 $\frac{gr}{cm^3}$

Tabla 7.

Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 10% de raquis.

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	567,06 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	1417,65 $cm^3$	50 %
<b>Fibra</b>	283,53 $cm^3$	10 %
<b>Agua</b>	567,06 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		20 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		217
Volumen del material compuesto :		125 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,73 $\frac{gr}{cm^3}$

Tabla 8.

**Cantidad de material usado en la elaboración de probetas para ensayos de compresión con 15% de raquis.**

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	567,06 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	1275,88 $cm^3$	45 %
<b>Fibra</b>	425,29 $cm^3$	15 %
<b>Agua</b>	567,06 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		20 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		202 g
Volumen del material compuesto :		125 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,62 $\frac{gr}{cm^3}$

Para poder realizar los ensayos de compresión las probetas deben secarse por una semana según la norma (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 198, 1987)



**Figura 22. Probetas listas para los ensayos de compresión.**

Se hizo más probetas con diferentes volúmenes de raquis de banano para obtener información acerca de los ensayos de compresión las siguientes probetas son de fibras de longitud de 50mm y fibras alineadas con una concentración en volumen de raquis de banano de 5%.



Tabla 9.

**Cantidad de material utilizado en la elaboración probetas de ensayos de compresión con 5% de raquis.**

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	567,06 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	1559,41 $cm^3$	55 %
<b>Fibra</b>	141,76 $cm^3$	5 %
<b>Agua</b>	567,06 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		50 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		223 g
Volumen del material compuesto :		125 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,78 $\frac{gr}{cm^3}$

Con la finalidad de tener un material para comparar los resultados obtenidos con el raquis de banano también se preparó una muestra con fibras de brocha para el ensayo de compresión con siguiente dosificación que muestra (Tabla 10).

Tabla 10.

**Cantidad de material utilizado en la elaboración probetas de ensayos de compresión con 5% de fibra de brocha.**

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	567,06 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	1559,41 $cm^3$	55 %
<b>Fibra</b>	141,76 $cm^3$	5 %
<b>Agua</b>	567,06 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		50 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		239 g
Volumen del material compuesto :		125 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,91 $\frac{gr}{cm^3}$

### 3.5.2 Materiales utilizados en las probetas para ensayos de flexión

Se observa con más claridad en las (Tablas 11, 12 y 13) la relación en porcentajes que se realizó para poder llegar a un porcentaje adecuado para la elaboración de probetas. Se vio que el porcentaje adecuado que se puede utilizar para la mezcla es de 10% de raquis por lo que no se procedió hacer probetas con otros porcentajes y se realizó también probetas con 0% y 5% de raquis de banano para poder tener una comparación del aporte de las fibras para la resistencia a la flexión.

**Tabla 11.**

**Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 0% de raquis.**

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	3402,35 $cm^3$	60 %
<b>Fibra</b>	0 $cm^3$	0 %
<b>Agua</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		10 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		512 g
Volumen del material compuesto :		256 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,83 $\frac{gr}{cm^3}$



**Figura 23. Probetas de ensayos a flexión.**

Tabla 12.

Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 5% de raquis.

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	3402,35 $cm^3$	60 %
<b>Fibra</b>	253,76 $cm^3$	5 %
<b>Agua</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		10 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		512 g
Volumen del material compuesto :		256 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,780 $\frac{gr}{cm^3}$

Tabla 13.

Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 10% de raquis.

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	2835,29 $cm^3$	50 %
<b>Fibra</b>	567,06 $cm^3$	10 %
<b>Agua</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		10 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		443g
Volumen del material compuesto :		256 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,73 $\frac{gr}{cm^3}$

Para poder realizar los ensayos de compresión las probetas deben secarse por una semana según la norma (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 198, 1987)



**Figura 24. Probetas listas para realizar el ensayo de flexión**

Con la finalidad de tener un material para comparar los resultados obtenidos con el raquis de banano también se preparó una muestra con fibras de brocha para el ensayo de flexión con siguiente dosificación que muestra (Tabla 14).

**Tabla 14.**

**Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas para ensayos de flexión con 5% de fibras de brocha.**

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	3402,35 $cm^3$	60 %
<b>Fibra</b>	253,71 $cm^3$	5 %
<b>Agua</b>	1134,12 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		10 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		494,6 g
Volumen del material compuesto :		256 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,93 $\frac{gr}{cm^3}$

### 3.5.3 Material usado para la elaboración de probetas para los ensayos de conductividad térmica.

En la siguiente tabla (Tabla 15) se muestra las proporciones que se utilizó para la elaboración de las probetas para los ensayos de conductividad térmica.



Figura 25. Probetas listas para realizar el ensayo de conductividad térmica

Tabla 15.

Cantidad de material utilizado en la elaboración de probetas del ensayo de conductividad térmica.

Dosificación del material compuesto		
Material	Volumen	Porcentaje
<b>Cemento</b>	2835,29 $cm^3$	20 %
<b>Arena</b>	7088,24 $cm^3$	50 %
<b>Fibra</b>	1417,65 $cm^3$	10 %
<b>Agua</b>	2835,29 $cm^3$	20 %
Tamaño de fibra:		10 mm
Orientación de la fibra:		Aleatoria
Peso del material compuesto:		4671 g
Volumen del material compuesto :		2700 $cm^3$
Densidad del material compuesto:		1,73 $\frac{gr}{cm^3}$

### 3.6 Ensayos de compresión.

Colocar cuidadosamente la muestra en la máquina de ensayo, bajo el centro del cabezal de apoyo superior, de manera que la carga se aplique a dos caras del cubo previamente medida y que estaban en contacto con las superficies planas del molde. Antes del ensayo de cada cubo debe asegurarse que el cabezal apoyado en la esfera este libre para la báscula. No utilizar materiales de amortiguamiento o cojín. Llevar el cabezal asentado en una esfera hasta que haga contacto uniforme con la superficie del espécimen. Aplicar la velocidad de carga con un incremento uniforme de velocidad entre los cabezales superior e inferior hasta alcanzar una carga sobre el espécimen. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488:2009, 2009)



**Figura 26. Forma de realizar el ensayo de compresión**

Los cálculos de resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista de calcula mediante la siguiente ecuación:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

**Ecuación 5. Resistencia a la compresión**

Donde:

$f_m$  : Resistencia a la compresión en Mpa.

P: Carga total máxima a la falla, en N.

A: Área de sección transversal del cubo a la que se aplica la carga, en mm<sup>2</sup>

Si la sección transversal de una muestra varía en más de 1.5% de la nominal, utilice el área real para el cálculo de la resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión de todos los especímenes de ensayo aceptables, hechos de la misma muestra y ensayados al mismo periodo debe ser promediada y reportada con una aproximación de 0.1 Mpa. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488:2009, 2009)

### 3.7 Ensayos de flexión.

Colocar el prisma en la máquina de ensayo de resistencia a la flexión con una cara lateral del moldeado sobre los cilindros de apoyo y con su eje longitudinal perpendicular a los apoyos. Aplicar la carga verticalmente, colocando el cilindro de carga sobre la cara lateral opuesta del prisma, en un punto equidistante a los puntos de apoyo y aumentando progresivamente.



Figura 27. Desarrollo del ensayo de flexión en las probetas

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

Ecuación 6. Esfuerzo normal máximo

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo normal máximo

M: Momento máximo

y: Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado de este

I: Momento de inercia de la sección transversal calculado respecto al eje neutro

### 3.8 Ensayo de conductividad térmica

El ensayo de conductividad térmica para un material compuesto fue desarrollado en el Laboratorio de Termodinámica en el cual se utiliza placas planas paralelas (Figura 28), cuyo monitoreo de temperatura constante se lo realiza mediante el sistema de placas caliente, obteniendo como resultado la conductividad térmica del material.



**Figura 28. Máquina para ensayos de conductividad térmica de placas paralelas**

Se obtendrá como resultado la conductividad térmica del material compuesto y de las fibras de raquis de banano, utilizando la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{Q}{A \left( \frac{T_3 - T_2}{\Delta} x \right)}$$

**Ecuación 7. Coeficiente de conductividad térmica**



**Donde:**

$\lambda$  : Coeficiente de conductividad térmica del material, medida en W/m. °C

**T2**: Temperatura medida en una de las caras de la placa caliente, en °C

**T3**: Temperatura medida en la primera placa de enfriamiento, en °C

**Q**: Flujo de calor en la placa de calentamiento en W.

**$\Delta x$** : Espesor de la muestra en m **A**= Área de la zona de calentamiento e  $m^2$

## 4 CAPÍTULO. RESULTADOS Y ANÁLISIS

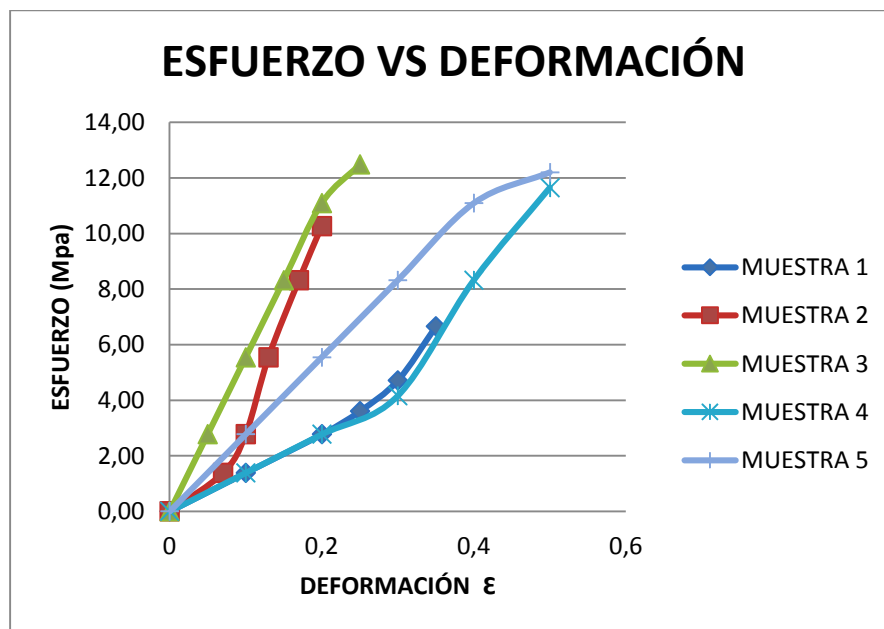
### 4.1 Tabulación de datos.

Se tomó los datos respectivos y se los paso a Excel con su respectiva escala para poder hacer un análisis de estos.

#### 4.1.1 Análisis de fibras a tracción.

Para poder empezar con el ensayo a tracción se obtuvo fibras de diámetro 3 mm con los cuales se hizo los ensayos de tracción, además se obtuvo la tracción de fibras finas de raquis de banano.

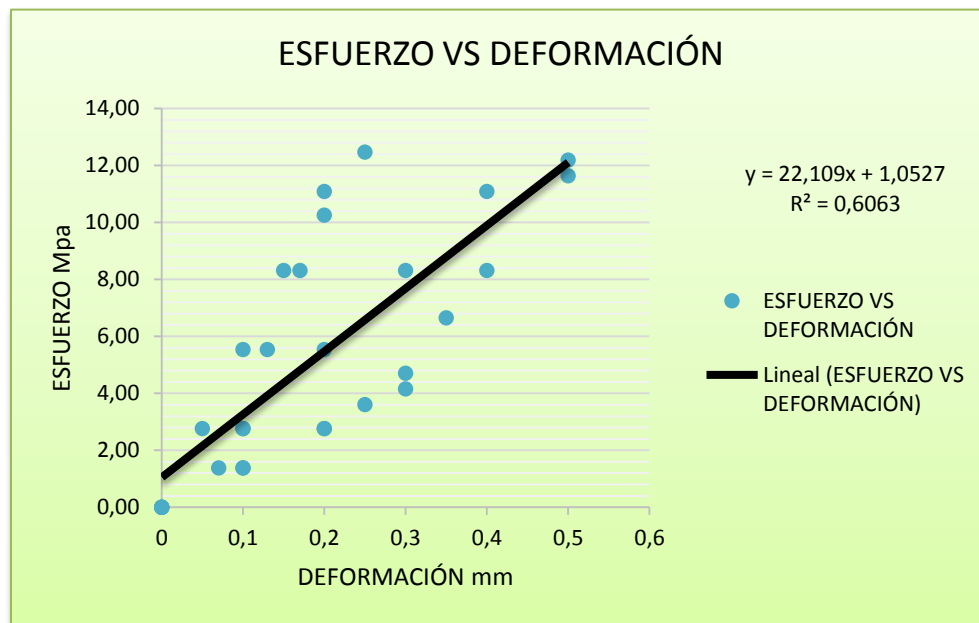
Se hizo el ensayo de tracción con las fibras de banano y los resultados son los siguientes:



**Figura 29. Esfuerzo vs Deformación de las muestras de raquis de banano**

Como se puede observar en la figura (Figura 28), existe una variación de 7 a 12 Mpa, esto se debe a que las muestras fueron tomadas de diferentes raquis de

banano. Como se puede ver en las muestras 3,4 y 5 tienen un esfuerzo último similar por ser tomadas del mismo raquis, en el caso de las muestras 1 y 2 también tienen unos valores aproximados de esfuerzo último ya que son muestras de un mismo raquis esto nos da una idea de entre que valores puede variar las fibras de raquis de banano. Para el diseño de los materiales se tomara el menor valor que en este caso fue de 6,65 Mpa.



Se hizo un análisis del coeficiente de variación y se buscó una línea de tendencia para predecir el comportamiento de las fibras de raquis en el ensayo de tracción donde se encontró que la variación máxima es de 39%, esto se debe a que las muestras fueron tomadas de diferentes plantas por lo que se puede ver que el proceso de desarrollo de la planta tiene una influencia importante en la resistencia de sus fibras.

El coeficiente de relación entre datos (coeficiente de relación de Person) nos da un valor de 0,77%, esto nos muestra que los datos están estrechamente relacionados ya que 1 es el valor máximo de relación entre datos.

Tabla 16.

Esfuerzos máximos y deformaciones máximas para las muestras de raquis de banano.

ESFUERZO MÁXIMO Y DEFORMACIÓN MÁXIMA		
MUESTRA	DEFORMACIÓN (mm)	ESFUERZO MAX. (Mpa)
1	0,35	6,65
2	0,2	10,26
3	0,25	12,48
4	0,5	11,65
5	0,5	12,20
Promedio		11,65

La fuerza se obtiene mediante la conversión de la gráfica que entrega la máquina de ensayo a tracción horizontal y posteriormente se lo multiplicó por el valor de la gravedad que es 9,8 m/s<sup>2</sup>.

$$A = \pi r^2$$

#### Ecuación 8. Área de un círculo

$$A = \pi * (1,5)^2$$

$$A = 7,07 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{47,04 \text{ N}}{7,07 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 6,65 \text{ Mpa}$$

Todos los cálculos y ensayos anteriores fueron hechos en un haz de fibras con diámetro de 3mm, por lo tanto se realizó un nuevo ensayo con mono fibras y verificar la resistencia a la tracción de este material. Para estas pruebas el área de

la fibra se tomó como un rectángulo, las medidas se lo realizó en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “Espe”.

**Tabla 17.**

**Ensayos de tracción en mono fibras.**

<b>l (µm)</b>	<b>h (µm)</b>	<b>Area (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuerza (Kg)</b>	<b>Fuerza (N)</b>	<b>Esfuerzo (Mpa)</b>
2101,67	616,00	1,29	2,15	21,07	16,27
599,71	554,50	0,33	0,25	2,45	7,37
424,00	375,00	0,16	0,20	1,96	12,33
Promedio					11,99

$$A = l * h$$

**Ecuación 9. Área de un rectángulo**

$$A = \frac{2101,67 * 616,00}{1000000}$$

$$A = 1,29 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{21,07 \text{ N}}{1,29 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 11,99 \text{ Mpa}$$

Los valores se encuentran alrededor de los 10 Mpa con lo que se tiene un valor aproximado de la resistencia de la fibra a las fuerzas de tracción. Este ensayo se hizo como parte de la caracterización de la fibra de raquis de banano. Como es una fibra flexible en su estado natural no se le puede realizar ningún otro tipo de prueba mecánica.

Se tiene como referencia algunas fibras las cuales presenta valores similares a los obtenidos con el raquis de banano como son:

- Algodón: 264 Mpa.
- Caamo: 285 Mpa.
- Yute: 342 Mpa.

Las propiedades mecánicas de las fibras resultan bastante diversas y dependen de las condiciones en se encuentra la fibra, principalmente en su grado de humedad. (Salvador, Sahuquillo, Llorens, Amigo, & Nuñez, 2008)

La resistencia de las fibras de raquis de banano en comparación a otras fibras naturales en baja. La matriz está hecha de un material que trabaja a compresión por lo tanto las fibras colaboran al momento de la rotura para que este no se desmorone por completo sino que mantenga su forma.

#### 4.1.2 Análisis de material a compresión.

Para los ensayos de compresión de las probetas de material compuesto, se utilizó la máquina de ensayos AMSLER, que se encuentra en el Laboratorio de Mecánica de Materiales con una capacidad de 10000 Kgf.



**Figura 30. Máquina para ensayos a compresión.**

En el ensayo de compresión para el material compuesto se obtuvo como resultado la fuerza máxima de la rotura, con este dato se calculó el máximo esfuerzo (Tabla 18), para las diferentes variaciones de porcentaje de fibras.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo máximo a la compresión

P: Fuerza máxima

A: Área

**Tabla 18.**

**Resultados del ensayo a compresión con 0% de raquis**

Probeta 0%	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
50	50	2500	2360	135	8,722
50	50	2500	1568	135	5,61736
50	50	2500	1570	135	5,6252
				Promedio	6,65

Para el valor promedio se calculó la resistencia específica, esto es la relación entre la resistencia del material y su densidad.

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

**Ecuación 10. Resistencia específica**

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.

$$RE = \frac{6,65 \text{ Mpa}}{0,00183 \text{ g/mm}^3}$$

$$RE = 3633,88 \frac{\text{N.mm}}{\text{g}}$$

Con este valor se comparó el rendimiento de las probetas que poseen raquis de banano en diferentes concentraciones. Se lo tomó como valor base 3633,88 (N.mm/g).

**Tabla 19.**

**Resultados del ensayo a compresión con 5% de raquis**

Probeta 5%	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	50 x 50 x 50	2500	135	1425	5,06
<b>M2</b>	50 x 50 x 50	2500	135	1470	5,23
<b>M3</b>	50 x 50 x 50	2500	135	1490	5,31
				Promedio	5,20

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.



$$RE = \frac{5,20 \text{ Mpa}}{0,00178 \text{ g/mm}^3}$$

$$RE = 2921,35 \frac{\text{N.mm}}{\text{g}}$$

Se observa que el valor de la resistencia específica decae en un 19% a un valor de 2921,35 (N.mm/g) con respecto a las probetas que no poseen raquis de banano.

**Tabla 20.**

**Resultados del ensayo a compresión con 10% de raquis**

Probeta 10%	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	50 x 50 x 50	2500	135	1400	4,96
<b>M2</b>	50 x 50 x 50	2500	135	1440	5,12
<b>M3</b>	50 x 50 x 50	2500	135	1215	4,23
				Promedio	4,77

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.

$$RE = \frac{4,77 \text{ Mpa}}{0.00173 \text{ g/mm}^3}$$

$$RE = 2751,45 \frac{\text{N.mm}}{\text{g}}$$

Se observa con estos valores que la resistencia específica baja a la par que el volumen de raquis de banano a 2751,45 (N.mm/g), en este caso bajo en un 25 % del valor que se obtuvo en las probetas iniciales.

**Tabla 21.**

**Resultados del ensayo a compresión con 15% de raquis**

Probeta 15%	Dimensiones (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Peso del cabezal (Kg)	Fuerza (Kg)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	50 x 50 x 50	2500	135	975	3,29
<b>M2</b>	50 x 50 x 50	2500	135	770	2,49
<b>M3</b>	50 x 50 x 50	2500	135	770	2,49
				Promedio	2,76

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

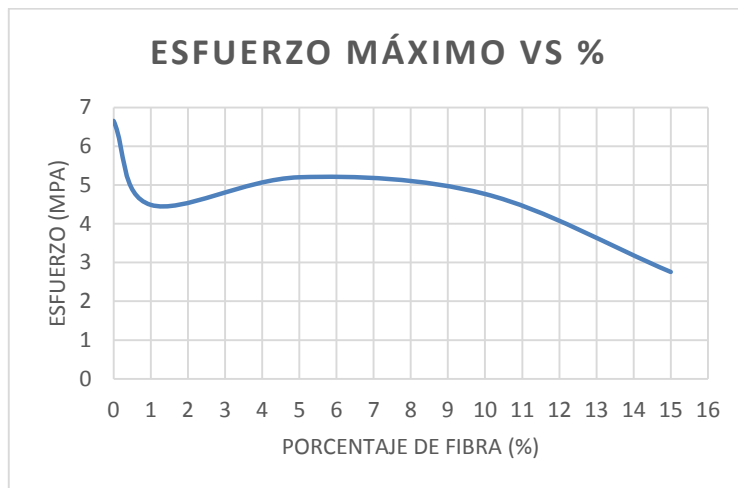
- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.

$$RE = \frac{2,76 \text{ Mpa}}{0,00162 \text{ g/mm}^3}$$

$$RE = 1697,53 \frac{\text{N.mm}}{\text{g}}$$

En este caso el valor decayó en un 53,28 % por lo que no es una opción para tener en cuenta como alternativa para el material compuesto.

Los resultados que se observan en las tablas (Tabla 18 y 19) nos dan un valor aproximado al de la probeta que no contiene raquis de banano (Tabla 17), por lo tanto, se usó el valor de 10% de raquis de banano, su valor de resistencia no es tan bajo y se puede remplazar un porcentaje mayor en la mezcla del mortero con fibras naturales. La comparación de los valores se puede observar en la siguiente figura (Figura 31).



**Figura 31. Comparación de valores de resistencia máxima vs el porcentaje de fibras de raquis de banano.**

### 4.1.3 Análisis de material a flexión.

Para los ensayos de flexión con el material compuesto se utilizó la máquina de ensayos universales que se encuentra en el laboratorio de resistencia de materiales.



Se obtuvo como resultado la fuerza máxima a la rotura, estos resultados nos permitieron calcular el esfuerzo máximo (Tabla 22).

**Tabla 22.**

#### Resultados de ensayo a flexión con 0% de raquis

Probetas 0%	Dimensiones (mm)	Momento de Inercia (mm <sup>4</sup> )	y (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	40x40x160	213333,3	20	708	2,49
<b>M2</b>	40x40x160	213333,3	20	923	3,24
<b>M3</b>	40x40x160	213333,3	20	790	2,78
				Promedio	2,84

En los ensayos de flexión intervienen varios factores más:

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

**Donde:**

- $\sigma$ : Esfuerzo normal máximo
- M: Momento máximo
- y: Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado de este
- I: Momento de inercia de la sección transversal calculado respecto al eje neutro.

$$I = \frac{b * a^3}{12}$$

Formula de la inercia para figuras cuadradas.

$$I = \frac{40 * 40^3}{12}$$

$$I = 213333,3$$

La fuerza última se obtiene directamente de los sensores al momento de realizar la práctica, entonces:

$$M = \frac{P}{2} * \frac{L}{2}$$

$$M = \frac{923}{2} * \frac{150}{2}$$

$$M = 34612,5 \text{ N.mm}$$

$$\sigma = \frac{34612,5 * 20}{213333,3}$$

$$\sigma = 3,24 \text{ Mpa}$$

Para evaluar el resultado y rendimiento del material se utilizara la resistencia específica para comparar el rendimiento del material con fibras.

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.

$$RE = \frac{2,84 \text{ Mpa}}{0,00183 \text{ g/mm}^3}$$

$$RE = 1551,91 \frac{\text{N.mm}}{\text{g}}$$

Posee un valor de resistencia específica de 1551,91 que será el valor base para la comparación las probetas con fibras de raquis de banano.

**Tabla 23.**

**Resultados de ensayo a flexión con 5% de raquis**

Probetas	Dimensiones (mm)	Memento de Inercia (mm <sup>4</sup> )	y (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	40x40x160	213333,33	20	481	1,69
<b>M2</b>	40x40x160	213333,33	20	493	1,73
<b>M3</b>	40x40x160	213333,33	20	494	1,74
				Promedio	1,72

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.

$$RE = \frac{1,72 \text{ Mpa}}{0,00178 \text{ g/mm}^3}$$

$$RE = 966,29 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{g}}$$

En comparación al valor inicial la resistencia específica decae en a 966,29 (N.mm/g) que representa una caída de un 37,7 %.



**Figura 32. Probeta de ensayo a flexión con raquis de banano**

Como se puede observar las fibras de raquis de banano no están rotas pero la matriz si lo está, lo que nos indica que a mayor longitud de la fibra tendrá un mayor agarre en el material matriz.

Tabla 24.

## Probetas con fibras largas distribuidas en tres capas.

Probetas	Dimensiones (mm)	Inercia (mm <sup>4</sup> )	y (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	40x40x160	213333,33	20	782	2,75
<b>M2</b>	40x40x160	213333,33	20	834	2,93
<b>M3</b>	40x40x160	213333,33	20	914	3,21
Promedio					2,96

Para esta probeta se realizó la misma cantidad de mezcla pero con una configuración de capas con 6 fibras de 160 mm en cada capa el valor de la densidad es:

$$\rho = 0,00191 \frac{gr}{mm^3}$$

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.



$$RE = \frac{2,96 \text{ Mpa}}{0,00191 \text{ g/cm}^3}$$

$$RE = 1549,74 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{g}}$$

Se puede observar que para esta configuración la resistencia específica se aproxima a la de referencia con un descenso de apenas 1%.



**Figura 33. Probetas echas de capas de raquis de banano con fibras largas**

**Tabla 25.**

**Resultados de ensayo a flexión con 10% de raquis**

Probetas 10%	Dimensiones (mm)	Momento de Inercia (mm <sup>4</sup> )	y (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	40x40x160	213333,3	20	431	1,52
<b>M2</b>	40x40x160	213333,3	20	504	1,77
<b>M3</b>	40x40x160	213333,3	20	483	1,70
				Promedio	1,66

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- $\rho$ : Densidad.

$$RE = \frac{1,66 \text{ Mpa}}{0,00173 \text{ g/mm}^3}$$

$$RE = 959,54 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\text{g}}$$

El valor de la resistencia a la flexión decae en un 39% respecto al valor inicial, las fibras no están ayudando en la resistencia al material sino que le están restando de manera substancial.

Para poder tener un valor de referencia se hizo una probeta con fibras de brocha cuyos valores son los siguientes.

**Tabla 26.**

**Resultados de las probetas hechas con fibras de brocha.**

Probetas	Dimensiones (mm)	Inercía (mm <sup>4</sup> )	y (mm)	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
<b>M1</b>	40x40x160	213333,33	20	731	2,57
<b>M2</b>	40x40x160	213333,33	20	720	2,53
<b>M3</b>	40x40x160	213333,33	20	897	3,15
Promedio					2,75



**Figura 34. Probeta hecha con fibras de brocha para el ensayo de flexión.**

Se observa en esta probeta hecha con fibras de brocha que al coger una fibra con la mano esta no aguanta el peso de la parte de la probeta desprendiéndose con facilidad, debido a que se hizo con longitudes pequeñas por lo que la longitud crítica para esta fibra debe ser mayor a 20 mm por lo demostrado experimentalmente con varios intentos y en ninguno de estos la fibra pudo interactuar exitosamente con la matriz.

$$RE = \frac{\sigma}{\rho}$$

Donde:

- RE: Resistencia específica.
- $\sigma$ : Esfuerzo.

- $\rho$ : Densidad.

$$RE = \frac{2,75 \text{ Mpa}}{0,00193 \frac{\text{g}}{\text{mm}^3}}$$

$$RE = 1424,87 \frac{\text{N.mm}}{\text{g}}$$

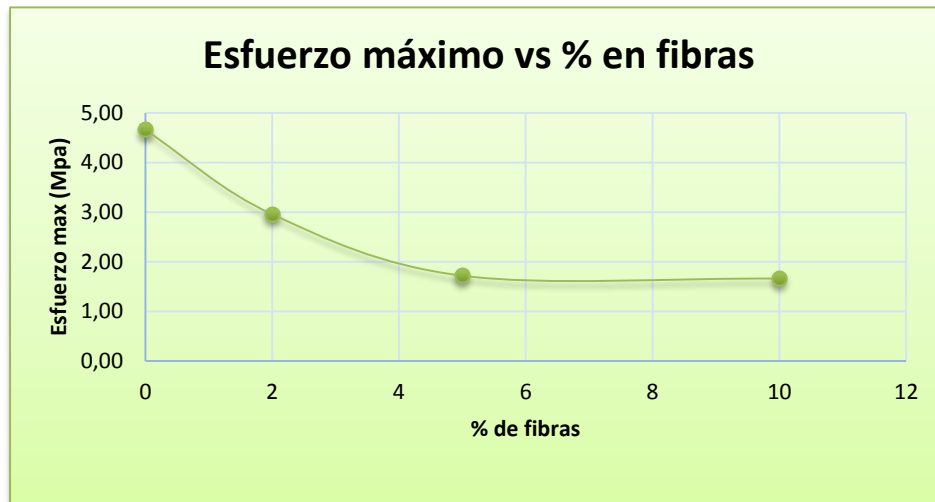
Para este ensayo de referencia se ve una resistencia específica baja en aproximado de 8, 18 % d que se aproxima al valor de la probeta sin ninguna fibra

Como se puede observar el mortero de cemento y arena combinado con fibras no ofrece una mejora en las propiedades del material resultante, sin embargo el material que falla en los ensayos a flexión es la matriz, las fibras no sufren un corte por lo que las dos mitades quedan sujetas a la matriz.



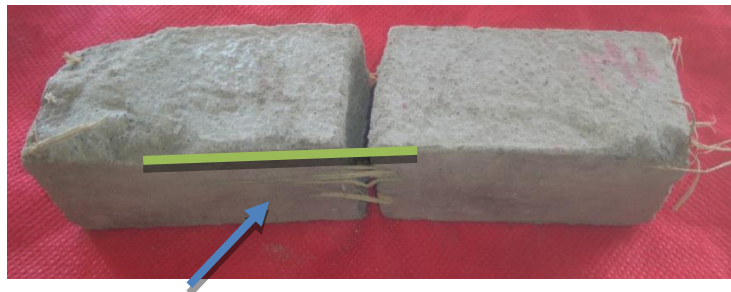
**Figura 35. Probetas de ensayo a flexión conformadas por capas de fibras largas.**

Los resultados se muestran en el siguiente gráfico, de todos los ensayos con fibras de banano.



**Figura 36. Resumen de ensayos y su resistencia a la flexión.**

Como se observa en la figura (Figura 36) todas las combinaciones que le hizo a la matriz y a las fibras no nos dio un resultado mayor al del material matriz por sí solo, en algunas probetas se puede ver que las fibras mientras más largas son se sujetan mejor al material matriz pero esto no se ve reflejado en un aumento de la resistencia del compuesto.



**Figura 37. Probeta de fibras largas.**

Como se puede observar en esta probeta las fibras sostienen al material base ya roto, las fibras están sujetas al material matriz en toda su longitud pero esto no fue un aporte significativo hacia la resistencia final de todo el compuesto. Sin embargo el agarre de la fibra hacia la matriz aumenta conforme aumenta su longitud.

#### 4.1.4 Análisis de conductividad térmica en fibras de raquis de banano.

Se realizó los ensayos para encontrar la conductividad térmica del material compuesto.

La tabla (Tabla 27) muestra los datos obtenidos para las fibras de raquis de banano cuando la máquina logro estabilidad, con estos datos se calculó el índice de conductividad de las fibras.

**Tabla 27.**

**Datos para la conductividad térmica de las fibras.**

Hora	Unidad	8:00	9:30	9:00	9:30	10:00
T1	°C	24,3	23,2	22,8	22,7	22,5
T2	°C	22,7	21,7	21,4	21,3	21,1
T3	°C	15,4	14,9	14,6	14,5	14,3
T4	°C	15	14,4	14,2	14,1	13,9
V	V	8	8	8	8	8

Para estos datos se encontró que la conductividad térmica de las fibras de raquis de banano  $\lambda$  es de  $0,054 \text{ W/}^\circ\text{K.m}$ .

Este valor puede ser comparado con valores de otras fibras naturales que poseen valores similares como los siguientes:

- Cábano =  $0.041 \text{ W / }^\circ \text{K m}$ . (Rodríguez H. , s.f.)
- Fibras de coco =  $0.043 \text{ W / }^\circ \text{K m}$ . (Molinar, Jordan, & Munive, 2010)

- Lino = 0.048 W / ° K m. (Cobrero, 2008)
- Cascarilla de arroz = 0.036 W / ° K m. (Cadena & Bula, 2002)
- Corcho aglomerado= 0.045 W / ° K

Los valores antes expuestos y el valor obtenido de raquis de banano están en un rango muy similar para el índice de conductividad térmica.

#### 4.1.5 Análisis de conductividad térmica en el material compuesto.

Se realizó los ensayos para encontrar la conductividad térmica del material compuesto.

La tabla (Tabla 28) muestra los datos recopilados con mayor estabilidad en la maquina por lo que con estos se procederá a calcular el índice de conductividad térmico para el material compuesto a 10% de raquis de banano

**Tabla 28.**

#### Datos para el cálculo de la conductividad térmica del material

Hora		7:40	8:10	9:40	10:10	11:40
T1	°C	20,4	19,9	18,7	17,5	7,5
T2	°C	20,4	19,6	18,5	17,6	7,9
T3	°C	17,2	15,8	14,6	13,6	3,8
T4	°C	17,6	16	14,6	13,6	4
V	V	12	12	12	12	12

Para estos datos se encontró que la conductividad térmica del material compuesto ( $\lambda$  ajus) de 0,27 W / ° K m.

Este valor puede ser comparado con valores de otros valores de materiales usados para la construcción como son:

- Loseta de hormigón = 1.4 W / ° K m. (Machado, Brito, & Neila, 1999)
- Bloque de arcilla = 0,56 W / ° K m. (Machado, Brito, & Neila, 1999)

- Hormigón de agregado liviano =  $0.95 \text{ W / } ^\circ \text{ K m}$ . (Machado, Brito, & Neila, 1999)

En comparación con los valores investigados el valor calculado tiene una gran diferencia con los otros materiales compuestos, representando las fibras con un aporte importante con respecto a su resistencia térmica.

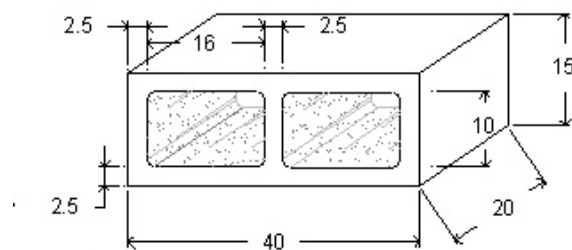
#### 4.2 Características del material compuesto.

Se obtuvo un material compuesto cuyas características son las siguientes:

- Densidad =  $1,73 \text{ gr/cm}^3$
- Resistencia a la compresión =  $4 \text{ Mpa}$ .
- Resistencia a la flexión =  $1,50 \text{ Mpa}$ .
- Índice de conductividad =  $0,27 \text{ W / } ^\circ \text{ K m}$ .

Por lo tanto este material cumple con la norma INEN 643 (Anexo E) de bloques huecos en la categoría B.

Entonces para un bloque hueco de dimensiones:



**Figura 38. Bloque hueco**

El material compuesto desarrollado con fibras de raquis de banano para las dimensiones del bloque, (Figura 38) representa un 5,50% en peso de un bloque hecho de forma convencional.



Para un precio de mercado del bloque que asciende alrededor de 0.35 centavos de dólar, el nuevo material al representar un ahorro del 5,50 % el precio de un bloque hecho con el nuevo material es de 0.33 centavos de dólar.

## 5 CAPÍTULO. ANÁLISIS ECONÓMICO

### 5.1 Análisis Económico

Son los valores que se necesitaron en la inversión para el diseño de ingeniería del proyecto que se realizó.

#### 5.1.1 Costos directos para la realización

Se verificaron los recursos que influyeron de manera directa en la realización el proyecto.

**Tabla 29.**

#### Costo directo de la tesis

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>			
<b>Elaboración de tesis</b>	1200 horas	5,00	6000,0 (USD)
<b>MATERIALES</b>			
<b>Impresiones A4 de la tesis</b>	200	0,30	60 (USD)
<b>Empastado</b>	2	40	80 (USD)
<b>DVD</b>	3	3	9 (USD)
<b>Arena</b>	1 carretilla	1,40	1,40 (USD)
<b>Cemento</b>	1 quintal	9,00	9 (USD)
<b>SUBTOTAL</b>			<b>6159,4 (USD)</b>

#### 5.1.2 Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos rubros que se utilizaron para poder presentar la información como resultado del proyecto.

Tabla 30.

## Costos indirectos de la tesis

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
<b>MANO DE OBRA</b>	40	20	400 (USD)
Asesoramiento Director	30 horas	25,00	750 (USD)
Asesoramiento Codirector	30 horas	25,00	750 (USD)
Laboratorista Mecánica de Materiales	20	25,00	500 (USD)
Laboratorista Termodinámica	15	25,00	375 (USD)
<b>MATERIALES</b>			
Badilejo	1	3	3 (USD)
Recipiente de Preparación	1	2	2 (USD)
Recipiente para medir volúmenes	1	3	3 (USD)
Calibrador	1	100	100 (USD)
Servicios Básicos	8 meses	50	400 (USD)
Transporte	20 viaje	5	100 (USD)
<b>SUBTOTAL (USD)</b>			<b>3383 (USD)</b>

## 5.2 Costos totales

El total de los costos que abarcaron el proyecto fueron.

Tabla 31.

## Costos totales del proyecto

<b>SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS</b>	<b>6159,4 (USD)</b>
<b>SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>	<b>3383 (USD)</b>
<b>VALOR TOTAL</b>	<b>9542,4 (USD)</b>

## 6 CAPÍTULO. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones.

La mejor forma de obtener las fibras de raquis de banano es con la maquina desfibradora de tallo y hojas, se observa que las fibras son más uniformes y mejor resistencia a la tracción a la tracción con un valor máximo de 16 Mpa. Se comprobó que la forma de obtención de la fibra es un factor importante para su interacción con la matriz.

Durante el proceso de elaboración del material se calculó la longitud crítica de la fibra que fue aproximadamente de 5 mm por lo que se procedió a experimentar con valores superiores a partir de los 20 mm observando que la adherencia a la matriz aumentaba conforme aumentaba la longitud de la fibra.

Las probetas de compresión mejoran sus propiedades con fibras finas y de longitudes superiores a los 30 mm y con 10% de volumen de fibras de raquis de banano, en porcentaje mayores a 10% la resistencia del material a la compresión se reduce al 50%.

Las probetas de flexión tuvieron mayor éxito usando la configuración por capas con fibras largas y delgadas, mientras mayor es la longitud de la fibra mejor es la adherencia sin mucho volumen de fibras hasta un 3%.

Para la resistencia térmica se lo ha realizado con un 10% en volumen en las probetas para que represente un aporte significativo de las fibras a la matriz dando como resultado un material que tiene un índice bajo para la conducción de calor  $0,3 \text{ W/}^\circ\text{K.m}$ .

## 6.2 Recomendaciones.

La extracción de las fibras de cualquier material se la debe hacer de tal manera que su diámetro sea el menor posible y tenga una uniformidad a lo largo de todo la fibra, de esta forma la probabilidad de falla en la fibra se reduce asegurando una interacción exitosa entre la matriz y el material de aporte.

Para la longitud de las fibras que se va a utilizar se debe calcular su longitud crítica la cual nos indica la medida en la que ya empiezan a ser un aporte para la matriz, las longitudes pueden ser mucho mayores a la longitud crítica con un arreglo de orientación al eje de aplicación de la fuerza o en forma perpendicular a este.

Se podría usar un tratamiento químico que proteja a las fibras de la humedad que posee el material al ser elaborado de esta forma se buscaría una mejor manera de interacción entre las fibras y la matriz ayudando a que tenga un mejor agarre.

Calcular la de forma exacta la resistencia de la unión matriz-fibra para poder obtener las mejores propiedades de estos dos componentes y de esta forma poder diseñar una configuración para obtener lo mejor de ambos materiales.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Agroban.com.ec. (2014). Estadísticas de la Industria del Banano. *Estadísticas*.
- AgroNoticias. (9 de Abril de 2012). *El Salvador aumenta la productividad en el cultivo de caña de azúcar*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2014, de <http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/en/c/134957/>
- Alvarez, F. B. (s.f.). *Universidad de Oviedo*. Recuperado el 07 de 04 de 2015, de Escuela de Minas: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.CementoPortland.GENERALIDA DES.B.pdf>
- Arquitectura y Ciudad. (20 de Septiembre de 2014). *Jardines en México tendrían impresionantes Edificaciones en Bambú*. Recuperado el 25 de Diciembre de 2014, de <http://arquitecturayciudad.com/blog/jardines-en-mexico-tendrian-impresionantes-edificaciones-en-bambu/>
- Arrata, E. K. (01 de 07 de 2014). IMPLEMENTACION DE UNA EMPRESA DE PAPEL PERIODICO UTILIZANDO EL RAQUIS DE BANANO COMO MATERIA PRIMA. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Askelan, D. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. En D. r. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (pág. 960).
- Ballesteros, M. N. (2005). Tecnología de proceso y transformación de materiales. En M. N. Ballesteros, *Tecnología de proceso y transformación de materiales* (pág. 145). Cataluña: Edicions UPC.
- Bamboo Society of Australia. (3 de Diciembre de 2014). *Guadua Angustifolia. Byron Bay Bamboo*. Recuperado el 21 de Octubre de 2014, de <http://www.byronbamboo.com.au/clients-gardens/p/235>

- BAMBUMEX. (2013). *Morfología de la planta de bambú*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de file:///F:/Bamb%FAes%20de%20M%E9xico.html
- Barbaro, G. (2007). La Biónica del bambú. *HorticomNews*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de <http://www.horticom.com/pd/article.php?sid=66381>
- Barrios, J., Cabeza, E., Castro, C., Fuentes, C., Gutiérrez, A., Manjarres, L. E., . . . Paternostro., C. (2011). *Materiales Compuestos*. Santa Marta: Universidad de Magdalena. Recuperado el 23 de Octubre de 2014, de [https://www.google.com.ec/?gfe\\_rd=cr&ei=lmbGVMqcEYXCqAWs5YDYDw#q=Un+material+compuesto+es+aquel+formado+por+dos%2C+o+m%C3%A1s%2C+materiales+distintos+que+presenta+algunas+propiedades+f%C3%ADscas+determinadas+superiores+a+las+de+los+materiales+que+lo+componen](https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=lmbGVMqcEYXCqAWs5YDYDw#q=Un+material+compuesto+es+aquel+formado+por+dos%2C+o+m%C3%A1s%2C+materiales+distintos+que+presenta+algunas+propiedades+f%C3%ADscas+determinadas+superiores+a+las+de+los+materiales+que+lo+componen)
- Cadena, C., & Bula, A. (2002). Estudio de la variación en la conductividad de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería & Desarrollo*, 3.
- Callister, J., & William, D. (2009). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Mexico: Limusa Wiley.
- Cascante, M. (Mayo de 2015). *Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislante térmicos basados en la biomasa de bagazo de caña apto para la construcción de edificaciones*. Recuperado el 1 de Junio de 2015, de <http://luisvelascoroldan.com/?p=1326>
- Casquete, M. (Mayo de 2015). *Análisis y desarrollo para la fabricación de bloques de hormigón como aislante térmicos basados en la biomasa de bagazo de caña apto para la construcción de edificaciones*. Obtenido de <http://luisvelascoroldan.com/?p=1326>

- Cedeño, J., & Delgado, A. (2013). *Investigación comparativa de las resistencias a la compresión simple de hormigones en función de todos sus componentes*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de <http://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/26000/1402/1/T-ULEAM-180-0020.pdf>
- Censos, I. E. (1 de Diciembre de 2009). *Ecuador en Cifras*. Obtenido de Ecuador en Cifras: <http://www.ecuadorencifras.com/sistagroalim/pdf/Banano.pdf>
- Ciencia y Ecología. (3 de 7 de 2008). *Modifican genéticamente la yuca para potenciar sus vitaminas y minerales*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2014, de <http://www.elmundo.es/elmundo/2008/07/01/ciencia/1214907437.html>
- CIIFEN/INAMI/INOCAR. (2007). *Información climática de amenazas hidrometeorológicas en las provincias costeras del Ecuador*. Guayaquil.
- Cobos, J., & León, X. (Noviembre de 2007). *Propiedades Físicas-Mecánicas de la guadua angustifolia kunth y aplicación al diseño de baterías sanitarias del IASAI*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1562/1/T-ESPE-025178.pdf>
- Cobrero, C. (2008). *Uso de fibras vegetales procedentes de explotación arícolas en la edificación sostenible*. Cataluña: Universidad de Cataluña.
- CORPEI. (2005). *Perfil bambú*. Obtenido de [http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cinvestigaciones%5Cdocentes\\_y\\_directivos%5Carticulos/5506\\_TRECALDE\\_00118.pdf](http://www.ecotec.edu.ec/documentacion%5Cinvestigaciones%5Cdocentes_y_directivos%5Carticulos/5506_TRECALDE_00118.pdf)
- Cuidar la Salud. (29 de Agosto de 2010). *Lino*. Obtenido de <http://www.cuidarlasalud.com/lino/>



DEYUTE. (2011). *El Yute*. Recuperado el 25 de noviembre de 2014, de <http://www.deyute.com/es/el-yute-deyute/>

Ecuador, A. d. (Noviembre de 2014). *AEBE*. Obtenido de AEBE: <http://www.aebe.com.ec/>

Ecuador, A. d. (2014). Estadísticas por año. *Estadísticas*.

ELBLOGVERDE. (7 de ENERO de 2009). *Fira de coco para hacer partes de automóviles*. Obtenido de <http://elblogverde.com/fibra-de-coco-para-hacer-partes-de-automviles/>

Estrada, M. (Enero de 2010). *Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos*. Recuperado el 10 de Enero de 2015, de [http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM\\_maestria.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/mestradam/docs/tesisMEM_maestria.pdf)

FibraPlus. (2 de Diciembre de 2014). *Materiales Compuestos*. Recuperado el 23 de enero de 2015, de <http://www.fibraplus.com/tag/materiales-compuestos-tecnologia-de-los-plasticos/>

García, A. E. (2010). La Industria Bananera Ecuatoriana. *AEBE*.

INEN 198. (9 de 1987). *Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros*. Recuperado el 25 de Abril de 2015, de <ftp://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0198.1987.pdf>

INEN. (1987). *Norma Técnica Ecuatoriana 198*. Quito.

INEN. (2005). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE 490:2005*. Quito.

INEN. (2005). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490*. Quito.

INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana 488*. Quito.

- INEN. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488:2009*. Quito.
- INEN. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana 2518*. Quito.
- INEN 2518. (1 de 2010). *Morteros para unidades de mampostería*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2518.2010.pdf>
- INEN 2563. (8 de 2011). *Evaluación previa a la construcción y durante la construcción de morteros para mampostería simple y reforzada*. Recuperado el 15 de 3 de 2015, de <ftp://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2563.2011.pdf>
- Juarez, C. (Junio de 2002). *Concretos base cemento portland reforzados con fibras naturales agave lechugilla, como materiales para construcción en mexico*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2014, de <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020150648/1020150648.PDF>
- Lopez, L. (Julio de 2009). *Estudio exploratorio de los laminados de bambú Guadua angustifolia como material estructural*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014, de Maderas, ciencia y tecnología: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2009000300001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2009000300001&script=sci_arttext)
- Lucena, M. (2009). *Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú*. Recuperado el 1 de Enero de 2015, de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.rlmm.org%2Farchives.php%3F%3D%2Farchivos%2FS01%2FN3%2FRLMMArt-09S01N3-p1107.pdf&ei=RoqBVeaUDoSXgwTapoEI&usg=AFQjCNG3ZXiu5zgWVdBfNlkZB7xyW>

Machado, M., Brito, C., & Neila, J. (1999). La cubierta ecológica como material de construcción. *Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura Venezuela*, 23-24.

Martinez, S. (2011). *Hormigon Laminado*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAG&url=https%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F13553%2FHORMIG%25C3%2593N%2520LAMINADO.pdf%3Fsequence%3D1&ei=za9NVeOCFYOogwTGwYHgDg&usg=AFQjCNGX>

Martinez, S. (2011). *Hormigones Laminados*. Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAG&url=https%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F13553%2FHORMIG%25C3%2593N%2520LAMINADO.pdf%3Fsequence%3D1&ei=za9NVeOCFYOogwTGwYHgDg&usg=AFQjCNGX>

Molinar, S., Jordan, R., & Munive, G. (2010). Evaluación térmica de un material natural atípo para uso como aislante térmico en contrucciones civiles. *Intec Journal*, 87-95.

Mongaby. (2012). *Chozas entre las plantas del plátano*. Recuperado el 9 de Diciembre de 2014, de <http://es.mongabay.com/travel/files/p15220p.html>

Moral Borque, A., & Noriega Lopez, M. (2007). *Materiales de última generación y materiales eficientes*.

Perez, F. (29 de Julio de 2005). *Aplicación de nuevos materiales a soluciones de vivienda en Colombia*. Obtenido de <http://www.docentes.unal.edu.co/afperezm/docs/Tesis%20Maestria.pdf>

RedTextil, A. (s.f.). *Fibras Vegetales*. Recuperado el 02 de 04 de 2015

Reyes, U. (2008). *Concreto Reforzado con Fibra de Bagazo de Caña*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2014, de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32835/1/reyesbanuelos.pdf>

Rodriguez, H. (s.f.). *Mimbrea*. Obtenido de Mimbrea: <http://www.mimbrea.com>

Rodriguez, I. (2012). El desarrollo tecnológico y sus aplicaciones. *Ciencias para el mundo*. Recuperado el 17 de Noviembre de 2014, de [http://irenerodriguezmartinez.blogspot.com/2012\\_04\\_01\\_archive.html](http://irenerodriguezmartinez.blogspot.com/2012_04_01_archive.html)

Ruiz, W. B. (9 de Abril de 2012). *Ambitoeconomico*. Obtenido de Ambitoeconomico: <http://ambitoeconomico.blogspot.com/2012/04/el-sistema-agroalimentario-del-banano>

RURAL, E. D. (2001). *UNIVERSIDAD DE CASTILLA*. Recuperado el 25 de 06 de 2015, de UNIVERSIDAD DE CASTILLA: [https://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Trans\\_const/Tema9.pdf](https://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/Tema9.pdf)

Salvador, Sahuquillo, Llorens, M., Amigo, & Nuéz. (2008). *Caracterizacion de fibras vegetales utilizadas como refuerzo en matrices termoplásticas*. Valencia.

Sanz, D. (5 de Septiembre de 2012). El uso del bambú como material constructivo crece en México. *Ecologismos*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014

Savitari. (30 de Septiembre de 2008). *¿ Cómo crece el bambú?* Recuperado el 3 de Diciembre de 2014, de <http://www.savitari.com/%C2%BFcomo-crece-el-bambu/>

Sotomayor, J. (2012). *Estudio comparativo del comportamiento estructural de paredes de mampostería con bloques de arcilla reforzados con fibras artificiales polipropileno y su durabilidad*. Recuperado el 2 de abril de 2015, de

[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ucsg.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F1204%2F1%2FT-UCSG-PRE-ING-IC-47.pdf&ei=\\_oU-VdyJEvb7sATSx4HoAQ&usg=AFQjCNFrKzFjA88s1sUqByNWAQ](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.ucsg.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F1204%2F1%2FT-UCSG-PRE-ING-IC-47.pdf&ei=_oU-VdyJEvb7sATSx4HoAQ&usg=AFQjCNFrKzFjA88s1sUqByNWAQ)

Stupenego, F. (2011). Materiales compuestos. En F. Stupenego, *Materiales y materias primas* (pág. Capitulo 10). Buenos Aires: Coleccion Encuentro Inet.

Valecia, U. P. (09 de 02 de 2015). *Universidad Politecnica de Valecia*. Obtenido de Universidad Politecnica de Valecia: [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15\\_9\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html)

Vargas, L. (Agosto de 2007). *Uso de fibras de papel periódico, cal hidratada y alumbre, en la elaboración de un material compuesto*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2014, de [http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/VARGAS\\_ROBLES\\_LUIS\\_ARTURO.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/VARGAS_ROBLES_LUIS_ARTURO.pdf)

Velasco, V. (Junio de 2002). *Instituto de altos estudios nacionales*. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de Trabajo de investigación individual maestria en seguridad y desarrollo con mención en gestión publica y gerencia empresarial.

**ANEXOS**

**ANEXO "A". Norma INEN 488,2009, Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.**

**ANEXO “B”. Norma INEN 198, 1997 Determinación de la resistencia a flexión y compresión de morteros.**



**ANEXO "C". Tablas de la resistencia de a la tracción en fibras de banano.**

**ANEXO “D”. Tablas de la resistencia de a la compresión en el material compuesto.**

**ANEXO "E". Tablas de la resistencia de a la flexión en el material compuesto.**

**ANEXO “F”. Tablas del ensayo de conductividad térmica en el material compuesto.**

**ANEXO “G”. Norma INEN 643 para bloques huecos**