



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales**

“EFECTOS DEL TRATAMIENTO QUÍMICO EN LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS FIBRAS DE LA MUSA PARADISIACA L  
PARA REFUERZO EN COMPOSITES”

### **TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del Título de:

### **INGENIERO QUÍMICO**

Presentado por:

NADIA MAGALY FLORES MANRIQUE

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**AÑO**

**2011**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi directora de Tesis, Ing. Olga González, por su apoyo y permitirme colaborar en su grupo de trabajo para la ejecución de este proyecto.

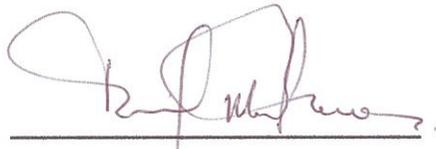
A Dios, a mis compañeros, a mis padres y familia, que permitieron que culmine esta etapa de mi vida con éxito.

A todos los profesores y personas que conforman el ICQA, por el conocimiento y amistad que me han brindado durante estos años.

## **DEDICATORIA**

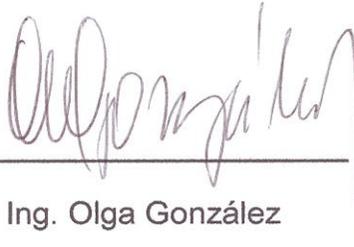
Dedico esta tesis a mi familia, ya que sin su apoyo y fe en mí, nada de esto hubiera sido posible.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ph.D David Matamoros

DIRECTOR ICQA



Ing. Olga González

DIRECTORA DE TESIS



Ing. Raúl Paz

VOCAL PRINCIPAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



---

Nadia Magaly Flores Manrique

## RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se realizó la caracterización de la fibra del pseudotallo de la *musa paradisiaca L* (plátano) y su tratamiento químico con anhídrido maleico, a fin de permitir un acople entre la fibra natural y una matriz polimérica.

En primer lugar, se procedió a identificar el método más apropiado para extraer la fibra de la planta de plátano, escogiéndose finalmente la extracción manual de fibra fresca, por representar menor daño en la fibra.

Para la caracterización química de la fibra, se procedió a determinar el contenido de humedad, celulosa, lignina, ceras, grasas y resinas, además de realizar un análisis termogravimétrico a fin de conocer su descomposición térmica antes y después del tratamiento con hidróxido de sodio para evidenciar la eliminación de la lignina de la fibra.

A partir de las determinaciones analíticas se tiene como resultado que la fibra de plátano está conformada por: 73.3% de celulosa, 12.2% de ceras, grasas y resinas, 13.8% de lignina, (todos los porcentajes expresados sobre muestra seca) y 10.63% de humedad.

En los análisis para la determinación de propiedades mecánicas se encontró que la fibra posee un título de 23.51 Tex, resiste una fuerza máxima a rotura por tracción de 608 cN y su tenacidad es 25.85 Cn/Tex, propiedades importantes para su procesamiento.

Para extraer la celulosa de la red de lignina en la que se encuentra, se somete las fibras a una reacción con hidróxido de sodio a diferentes concentraciones bajo reflujo, encontrándose que la concentración adecuada para eliminar las impurezas sin que el tratamiento llegue a ser muy agresivo con la fibra es una solución de álcali [1N].

La fibra tratada con hidróxido de sodio se hace reaccionar con el anhídrido maleico a fin de que ésta sustancia actúe como agente de acople cambiando la superficie de la fibra.

Empleando la microscopía electrónica de barrido, se verifican los resultados de los tratamientos químicos, ya sea el efectuado con hidróxido de sodio como el posterior tratamiento con anhídrido maleico.

Se concluye que la fibra de la musa paradisiaca L posee un gran potencial como refuerzo para composites y que con el adecuado tratamiento químico, se altera la superficie de la misma por lo que se facilita su acople con la matriz polimérica.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	v
ABREVIATURAS.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII

### **CAPÍTULO 1**

#### 1. DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Preámbulo.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación.....	8
1.5 Estrategia Metodológica.....	9

## CAPÍTULO 2

### 2. BASES TEORICAS

2.1 Clasificación de las fibras.....	12
2.2 Composición Química de las Fibras Naturales.....	13
2.2.1 Celulosa.....	16
2.2.1.1 Propiedades que la celulosa le confiere a la Fibra Natural.....	18
2.2.2 Hemicelulosa.....	20
2.2.3 Lignina.....	21
2.2.4 Sustancias de bajo Peso Molecular.....	24
2.3 Modificaciones químicas a la fibra lignocelulósica.....	25
2.3.1 Tratamiento con álcali.....	25
2.3.2 Tratamiento con el agente de acople.....	27
2.4 Plátano (Musa Paradisiaca L).....	30
2.4.1 Cultivo.....	31
2.4.2 Usos.....	33
2.4.3 Producción en el Ecuador.....	34

2.5 Uso de las fibras en los composites.....	35
2.5.1 Ventajas y Desventajas de las fibras naturales.....	37

### **CAPITULO 3**

#### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

3.1 Reactivos.....	40
3.2 Descripción de los Equipos.....	42
3.3 Método para la extracción de la fibra de plátano.....	47
3.3.1 Extracción Manual de la fibra.....	47
3.3.2 Extracción mecánica mediante una prensa.....	48
3.3.3 Extracción manual de fibra seca y tratamiento con agua caliente.....	49
3.4 Caracterización Química de la fibra de plátano.....	49
3.4.1 Determinación del contenido de humedad.....	49
3.4.2 Determinación del contenido de Ceras, Grasas y Resinas.....	51
3.4.3 Determinación del contenido de celulosa.....	52

3.4.4 Determinación del contenido de lignina.....	54
3.5 Caracterización física y estructural de la fibra de plátano.....	55
3.5.1 Tenacidad y título de la fibra.....	55
3.5.2 Termogravimetría.....	57
3.5.3 Microscopia Electrónica de Barrido.....	57
3.6 Tratamiento Químico de la fibra de plátano.....	57
3.6.1 Tratamiento con álcali a diferentes concentraciones.....	58
3.6.2 Tratamiento con anhídrido maleico.....	59

## **CAPITULO 4**

### **4. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

4.1 Extracción de la fibra.....	61
4.2 Composición química de la fibra de plátano.....	62
4.3 Propiedades mecánicas de la fibra de plátano.....	65
4.4 Morfología de la fibra de plátano.....	67
4.5 Tratamiento con álcali.....	69

4.6 Tratamiento con Anhídrido Maleico.....	75
--	----

## **CAPITULO 5**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones.....	80
-----------------------	----

5.2 Recomendaciones.....	82
--------------------------	----

## **APÉNDICES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

AM	Anhídrido Maleico
ASTMD	ASTM estándares internacionales
CGR	Ceras, Grasas y Resinas
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Organización para la Agricultura y la Alimentación
ICQA	Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales
LEMAT	Laboratorio de Materiales de la ESPOL
OH	Grupo Oxhidrilo
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PP	Polipropileno
SEM	Microscopio Electrónico de Barrido
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
TGA	Análisis Termogravimétrico

## SIMBOLOGÍA

cN	CentiNewtons
cm.	Centímetros
°C	Grados Centígrados
ml.	Mililitros
N	Normal (Concentración)
NaClO	Hipoclorito de sodio
NaOH	Hidróxido de Sodio
Tex	Unidad del título
Has.	Hectáreas
Q.P.	Químicamente Puro
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	Etanol

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Metodología del Proyecto.....	9
Figura 1.2	Esquema del método de extracción de la fibra.....	10
Figura 1.3	Metodología de la experimentación.....	11
Figura 2.1	Clasificación de las fibras.....	13
Figura 2.2.	Representación esquemática de las relaciones entre los principales constituyentes de la pared celular vegetal (celulosa, lignina y hemicelulosa).....	15
Figura 2.3.	Molécula de celobiosa en la cadena de celulosa.....	18
Figura 2.4.	Monosacáridos constituyentes de la hemicelulosa.....	21
Figura 2.5.	Estructura química de la lignina.....	23
Figura 2.6.	Reacción de la fibra con hidróxido de sodio.....	26
Figura 2.7.	Mecanismo de reacción del anhídrido maleico con la fibra celulósica.....	28
Figura 3.1.	Segmento de pseudotallo de plátano empleado para análisis.....	41

Figura 3.2.	Balanza analítica .....	42
Figura 3.3.	Analizador térmico, LEMAT (ESPOL).....	43
Figura 3.4.	Equipo de reflujo.....	44
Figura 3.5.	Equipo para ensayos universales, LEMAT (ESPOL)....	44
Figura 3.6.	Estufa.....	45
Figura 3.7.	Microscopio Electrónico de Barrido, LEMAT (ESPOL)..	46
Figura 3.8.	Prensa mecánica.....	46
Figura 3.9.	Desfibrado manual.....	47
Figura 3.10.	Desfibrado con prensa.....	48
	Figura 3.10.A. Chanta fresca.....	48
	Figura 3.10.B. Prensado de la chanta.....	48
	Figura 3.10.C. Chanta prensada.....	48
	Figura 3.10.D. Chanta para desfibrar.....	48
Figura 3.11.	Pedazos de chanta.....	50
Figura 3.12.	Tratamiento de la fibra con NaOH.....	59
Figura 3.13.	Tratamiento de la fibra con AM.....	60
Figura 4.1.	Chanta de plátano fresca.....	64
Figura 4.2.	Análisis termogravimétrico (TGA) de la fibra.....	65

Figura 4.3.	Análisis de fuerza máxima a rotura por tracción.....	67
Figura 4.4.	Microscopia electrónica de barrido de la fibra de plátano a 200 $\mu$ m.....	68
Figura 4.5.	Microscopia electrónica de barrido de la fibra de plátano a 40 $\mu$ m.....	69
Figura 4.6.	Muestras de fibra de plátano tratadas con soluciones de NaOH a diferentes concentraciones....	70
Figura 4.7.	Soluciones de NaOH posterior al tratamiento de la fibra de plátano.....	71
Figura 4.8.	Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 0,1 N NaOH (50 $\mu$ m).....	71
Figura 4.9.	Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 0,1 N NaOH (200 $\mu$ m).....	72
Figura 4.10.	Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 1 N NaOH (30 $\mu$ m).....	72
Figura 4.11.	Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 1 N NaOH (100 $\mu$ m).....	73
Figura 4.12.	Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 4 N NaOH (10 $\mu$ m).....	73

Figura 4.13. Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 4 N NaOH (50µm).....	74
Figura 4.14. Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 1 N NaOH y anhídrido maleico (50µm).....	76
Figura 4.15. Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 1 N NaOH y anhídrido maleico (200µm).....	77
Figura 4.16. Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 4 N NaOH y anhídrido maleico (50µm).....	77
Figura 4.17. Microscopía electrónica de barrido de fibra de plátano tratada con 4 N NaOH y anhídrido maleico (200µm).....	78
Figura 4.18. Análisis termogravimétrico (TGA) de la fibra tratada con solución NaOH 1N y anhídrido maleico.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I	Composición química de algunas fibras naturales.....	16
Tabla II	Propiedades que presentan las fibras con alto porcentaje de celulosa.....	19
Tabla III	Ventajas y desventajas de las fibras naturales.....	37
Tabla IV	Reactivos para la caracterización y tratamiento de la fibra.....	40
Tabla V	Normas para la determinación de parámetros químicos.....	49
Tabla VI	Tipos de extracción de la fibra de plátano.....	61
Tabla VII	Composición química de la fibra de plátano.....	62
Tabla VIII	Propiedades mecánicas de la fibra de plátano.....	66
Tabla IX	Porcentaje de la pérdida de masa de la fibra de plátano.....	70
Tabla X	Variación de masa en la fibra tratada con anhídrido maleico y anteriormente con NaOH.....	75

## INTRODUCCIÓN

El uso de las fibras naturales ha evolucionado desde la simple confección de textiles y elaboración de artesanías a la fabricación de materiales compuestos con fines industriales que incluyen el campo automotriz, de la construcción y el eléctrico.

En comparación a las fibras sintéticas, las fibras naturales resultan una opción más amigable con el medio ambiente, ya que no generan gases tóxicos o residuos sólidos de combustión y constituyen un recurso renovable.

En la actualidad se utilizan las fibras naturales para elaboración de composites, que resultan de una mezcla de dos o varios compuestos de distinta naturaleza, que contienen una matriz que puede ser cerámica, polimérica o metálica y un refuerzo, que aumenta su funcionalidad. Las fibras naturales como refuerzo en los composites brindan buena resistencia mecánica, poco peso y elasticidad, manteniendo mejor la estructura.

Este estudio contribuye al conocimiento ya existente sobre la aplicación de fibras vegetales y analiza las posibilidades de utilizarla fibra vegetal

proveniente del pseudotallo de la *musa paradisiaca* L, como refuerzo en los composites, para lo cual se ha realizado la caracterización física y química y el tratamiento químico con anhídrido maleico para favorecer el acople con la matriz polimérica.

La extracción de la fibra fue realizada manualmente con la fibra fresca, evitando daños representativos en sus características físicas y químicas.

La composición química se analizó utilizando los estándares establecidos (Normas TAPPI) para las fibras y textiles. Además se estudió la estructura y morfología de la fibra antes y después del tratamiento químico mediante el uso de microscopía electrónica de barrido (SEM), a fin de comprobar la efectividad del tratamiento con el agente de acople y los cambios estructurales significativos que se presentan.

# CAPÍTULO 1

## 1. DESCRIPCIÓN GENERAL

### 1.1 Preámbulo

La importancia de la producción y el procesamiento de las fibras naturales vegetales fue reconocida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el 2009 al ser considerado como el año Internacional de las Fibras naturales, cuyo objetivo principal fue crear conciencia en los agricultores y productores del invaluable recurso que poseen y las ventajas que éstas representan. [1]

En comparación a las fibras sintéticas, las fibras naturales causan menor impacto al medio ambiente, ya que en su procesamiento no se emiten dióxido de carbono y gases tóxicos o residuos sólidos de combustión, además de constituir un recurso renovable y biodegradable una vez terminada su vida útil.

Las propiedades mecánicas y físicas son las características más significativas que presentan las fibras naturales y que han generado interés en la industria automotriz y aeronáutica, en especial para la formación de composites; mezcla de dos o varios compuestos de distinta naturaleza, en los que las fibras naturales actúan como refuerzo, mejorando las propiedades mecánicas del material y reduciendo su peso.

Para la elaboración del composite se requiere fibras de las plantas no leñosas y duras debido a la estructura que presentan.

Actualmente, la fibra de vidrio constituye el principal refuerzo en los composites, pero a pesar de su excelente adherencia fibra- matriz, resistencia mecánica, estabilidad dimensional; su costo, peso, abrasión y la contaminación que produce, ha impulsado a buscar fibras de otro origen, que permitan sustituirla. [2]

Múltiples ensayos y experimentos se han desarrollado con el fin de mejorar la adhesión de las fibras a las matrices poliméricas, basados en tratamientos de las fibras con agentes químicos que permiten una mayor compatibilidad en términos de energía superficial y adherencia.

La reducción de peso es una constante preocupación desde la crisis energética sufrida en la mitad del siglo XX, y en especial para la industria automotriz debido a la actual exigente normativa ambiental. Por esta razón, los fabricantes necesitan aligerar el peso de los vehículos para mejorar el rendimiento de combustible y cumplir los requerimientos sobre emisiones contaminantes. De forma general, un 10% en la reducción del peso permite un ahorro en consumo de combustible de un 6 a un 8%. [2]

Como matriz polimérica, el polipropileno (PP) es uno de los más utilizados en la industria automotriz (33% del total de material plástico utilizado en este campo), debido a su bajo costo, inocuidad química, facilidad de procesamiento y altas propiedades mecánicas inherentes.

La resistencia de estos composites (PP- fibra natural) ha sido puesta a prueba y en Europa, los fabricantes de automóviles están utilizando un estimado de 80.000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos. [3]

Actualmente, la Mercedes Benz se encuentra utilizando una mezcla de polipropileno termoplástico e hilaza de abacá en partes del cuerpo

de los automóviles, teniendo en consideración que la producción de fibra de abacá utiliza un estimado del 60% menos de energía que la producción de fibra de vidrio y que el Ecuador es el segundo país productor del mundo (12000 ton. estimadas para el 2010). [4]

La mayoría de los investigadores han descubierto que algunas de estas especies vegetales no leñosas y que poseen buenas características mecánicas para la utilización en composite, son: la cabuya (sisal), banano, yute, lino y abacá. En el Ecuador, esta vegetación se encuentra disponible pero su uso es limitado a la fabricación de textiles, artesanías y la construcción de techos; además, el nivel socioeconómico de las comunas dedicadas a realizar actividades relacionadas con esta, no es muy alto.

Aún no se han realizado estudios sobre la viabilidad de utilizar lo que se considera el desecho del plátano como fibra de refuerzo, caracterizando el tipo de fibra y la composición química que presenta, y utilizando la microscopía electrónica de barrido como indicador de la eficacia del tratamiento.

## 1.2 Planteamiento del Problema

La fibra de vidrio es un compuesto tóxico, altamente utilizado en composite de carrocerías por sus propiedades mecánicas que lo vuelven un material altamente resistente, pero que una vez acabada su vida útil, estas mismas características, lo convierten en un residuo poco degradable y de difícil deposición final (no reutilizable). Se calcula que los filamentos de fibras sintéticas tardan más de 500 años en descomponerse. [5]

Estudios realizados con el fin de reconocer y reducir los impactos ambientales causados por el uso de la fibra de vidrio en composites, han determinado que el uso de las fibras naturales es una opción viable y altamente competitiva. Las ventajas que presentan se evidencian en los requerimientos para su producción (*Requerimientos de energía No renovable para la producción de diferentes fibras, Ver Anexo A*) y su ciclo de vida útil (*Valoración de Ciclo de Vida, Ver anexo B*). La producción mundial de fibras naturales es de 30 millones de toneladas, por lo que se lo puede considerar un recurso de alta disponibilidad. [6]

En los composites, la presencia de las fibras condiciona los procesos de mecanizado, como el torneado, taladrado y fresado, tanto en la selección de las herramientas de corte, como en el control de los parámetros procesuales y de las condiciones funcionales de corte, y por supuesto en el grado de acabado final, todos en función de las propiedades físicas y mecánicas. [2]

Las principales propiedades consideradas para la utilización de un tipo de fibra en un composite son: densidad, resistencia al impacto, resistencia a la tensión, humedad, rugosidad y conductividad eléctrica.

Las fibras naturales proveen a los composites una buena combinación de propiedades mecánicas y ventajas ambientales, sin embargo el comportamiento mecánico final depende de la capacidad de adhesión entre el refuerzo (fibra) y la matriz (polímero). Los factores que afectan directamente esta facultad son: la rugosidad y polaridad de la superficie.

Para mejorar la adhesión entre las fibras naturales (hidrofílica) y la matriz polimérica (PP, hidrofóbica), se debe realizar un tratamiento químico a las fibras.

El tratamiento químico busca incorporar al sistema un agente de acople que reaccione con las fibras y a su vez sea compatible con la matriz polimérica, logrando la adhesión deseada.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Evaluar los efectos del tratamiento químico con hidróxido de sodio y con anhídrido maleico como agente de acople para modificar la superficie y mejorar la adhesión de la fibra como refuerzo en una matriz polimérica

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar el pseudotallo de la planta de plátano y escoger el método más apropiado para extraer las fibras.
- Caracterizar la fibra de plátano utilizando microscopía, ensayos físicos, termogravimetría y el contenido de celulosa, lignina, ceras, grasas y resinas
- Realizar el tratamiento químico a las fibras con soluciones de hidróxido de sodio a diferentes concentraciones y con el agente de acople seleccionado

- Observar y analizar los cambios estructurales de la fibra por microscopía electrónica de barrido.

#### **1.4 Justificación**

Todo señala que la demanda de las fibras naturales está creciendo. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 30 años no habrá otra alternativa ya que la población del mundo llegará a los 8,6 billones de habitantes, para los que los 240 millones de toneladas de celulosa que se producen resultarán insuficientes.

Este proyecto tiene relación con el Objetivo 7 de Desarrollo del Milenio determinado por la ONU: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, ya que permite a la población concientizar y promover la importancia de recursos naturales cercanos a los que a menudo no se presta atención suficiente.

Muchos países han mostrado interés en el aspecto ambiental, particularmente países europeos quienes han promulgado leyes, (Legislación de residuos de flujos específicos), que requerirán, para el 2015, el uso de al menos 95% de materiales reciclables en sus vehículos. [7]

## 1.5 Estrategia Metodológica

La metodología empleada en el proyecto consta de tres fases como se representa en la Figura 1.1:

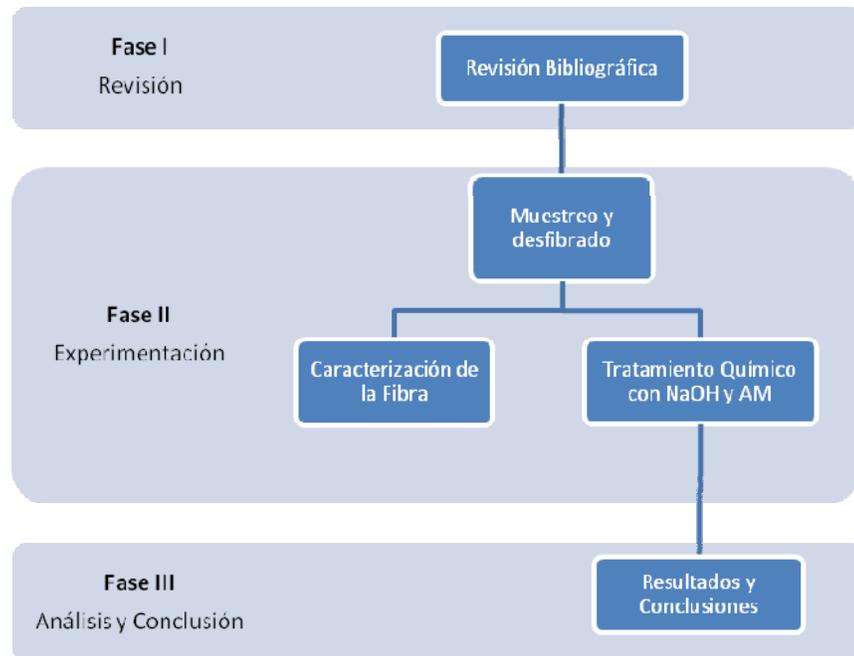


FIGURA 1.1. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

- **Fase I. Revisión**

Se realizó revisiones bibliográficas de estudios publicados sobre el uso de fibras naturales como refuerzo en composites, y sobre las ventajas de utilizar fibras naturales como sustitutas de la fibra de vidrio.

- **Fase II. Experimentación**

Se corta 1 m. del pseudotallo de un plátano y se limpia su superficie con agua, se procede con la selección del método de desfibrado que preserve la fibra de la mejor manera, sin causar abrasiones o fragilidad en las mismas.

Durante el desarrollo de este tema se utilizaron varias técnicas de extracción de fibras como se esquematiza en la Figura 1.2.



**FIGURA 1.2. ESQUEMA DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA**

Una vez escogida la técnica más conveniente se procede a la caracterización química, física y morfológica de la fibra y a realizar el tratamiento químico.

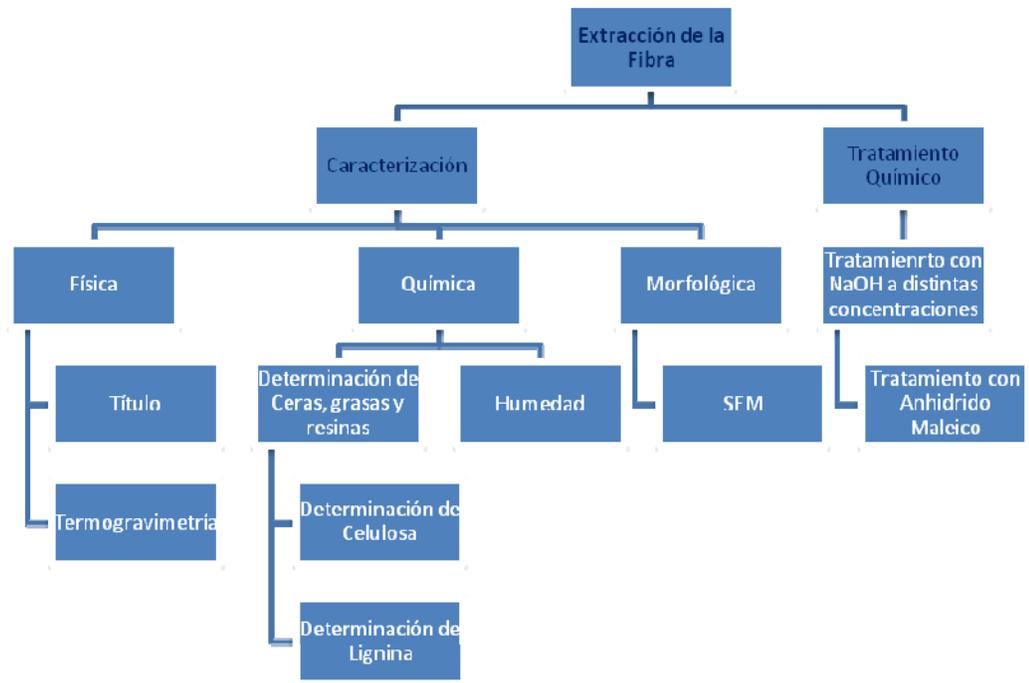


FIGURA 1.3. METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN

- **Fase III. Resultados**

Se analizan los resultados obtenidos de la caracterización física y química de la fibra de plátano, los ensayos termogravimétricos y de tensión, la comparación estructural entre la fibra tratada y sin tratamiento de las imágenes del Microscopio Electrónico de Barrido para posteriormente emitir un criterio.

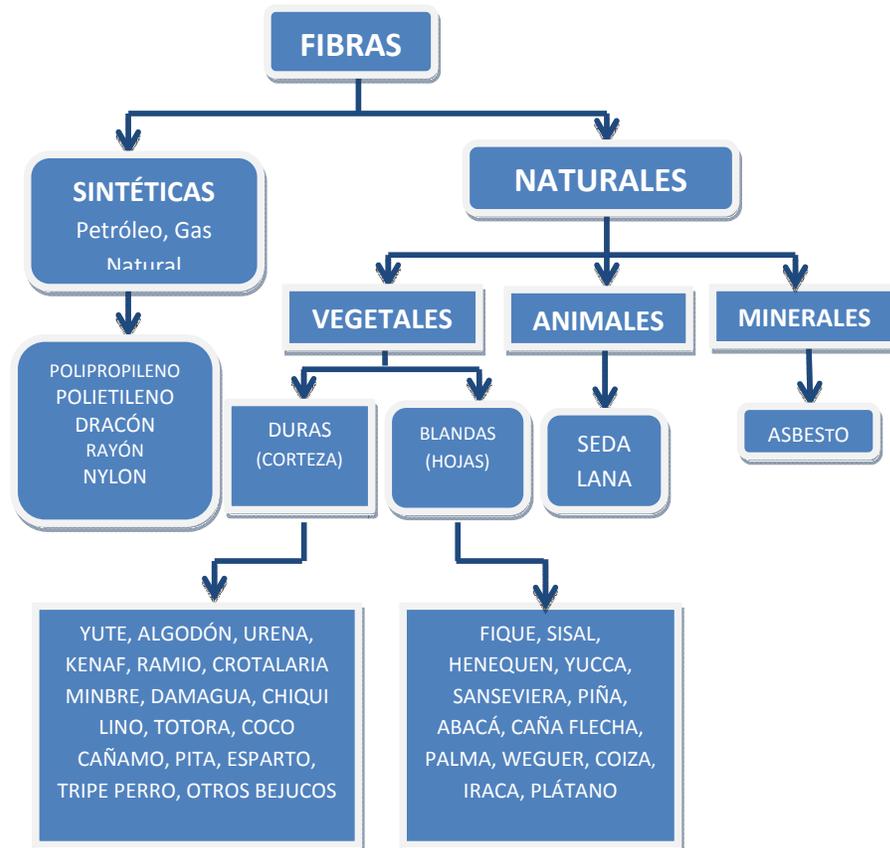
# CAPÍTULO 2

## 2. BASES TEÓRICAS

### 2.1 Clasificación de las fibras

Las fibras pueden clasificarse en dos grupos generales: las naturales y las sintéticas, como se puede observar en Figura 2.1

Su importancia radica en su gran y variado uso, ya sea comercial como industrial; sus principales usos son: la confección de ropa, artesanías, en la fabricación de autos, etc. [8]



**FIGURA 2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS**

## 2.2 Composición Química de las Fibras Naturales

Las fibras vegetales o también llamados materiales lignocelulósicos, se encuentran constituidos por tres polímeros estructurales - celulosa, hemicelulosa y lignina - y una serie de compuestos de bajo peso molecular solubles en agua (fracción hidrosoluble) o solventes orgánicos (los denominados extraíbles).

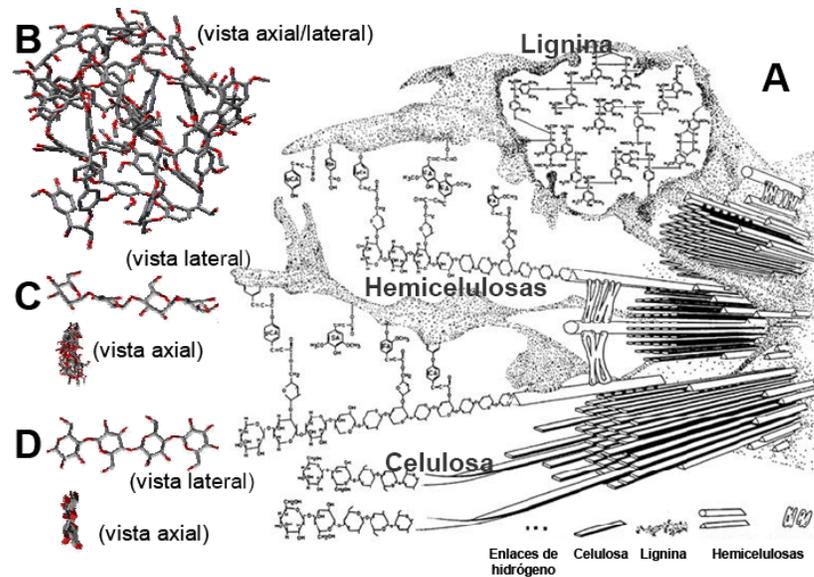
También existen bajo contenido de proteína y sales minerales (denominadas cenizas luego de la combustión).

La celulosa es el componente mayoritario (sobre un 50%), seguida de la lignina (alrededor de un 20%) y de la hemicelulosa (alrededor de un 15%). [9]

Histológicamente, existe mayor porcentaje de lignina en la lámina media, que es la capa externa que une las paredes celulares de las fibras contiguas en los tejidos lignificados. El resto de las capas de la pared vegetal, están principalmente constituidas por celulosa y hemicelulosa, aunque presentan también un cierto contenido de lignina.

En la pared secundaria la lignina forma una matriz amorfa que protege a los polisacáridos frente a la degradación microbiana y la hidrólisis enzimática en general. En la pared vegetal existen enlaces interpolímeros que pueden ser directos, enlaces éter entre OH alcohólicos (de los polisacáridos) y fenólicos (de la lignina), o a través de puentes formados por los ácidos p-hidroxicinámicos. Estos últimos son precursores de la lignina pero en muchas plantas herbáceas se

encuentran también en forma libre (incluidos en la fracción extraíble) y formando puentes lignina-polisacárido. [10]



**FIGURA 2.2. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS RELACIONES ENTRE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LA PARED CELULAR VEGETAL (CELULOSA, LIGNINA Y HEMICELULOSA)**

Este esquema, muestra las microfibrillas de celulosa, formadas por cadenas lineales de glucosa, inmersas en una matriz amorfa de lignina, en la que también se incluye la hemicelulosa, formada por cadenas ramificadas de pentosas unidas por enlaces laterales.

Se resumen los resultados de algunos estudios realizados sobre la composición química a algunas fibras naturales en la Tabla I.

**TABLA I**

<b>FIBRA</b>	<b>% CELULOSA</b>	<b>% HEMICELULOSA</b>	<b>% CENIZAS</b>	<b>% LIGNINA</b>
<b>Banana</b>	60 – 65	6 – 8	6 – 8	5 – 10
<b>Okra</b>	60 – 70	15 – 20		5 – 10
<b>Sisal</b>	50 – 74	10 – 14		8 – 11
<b>Piña</b>	70 – 82			5 – 12

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGUNAS FIBRAS NATURALES**

**2.2.1 Celulosa**

Base estructural de las células vegetales, es la sustancia natural más importante, tanto por su abundancia como por su aprovechamiento tecnológico.

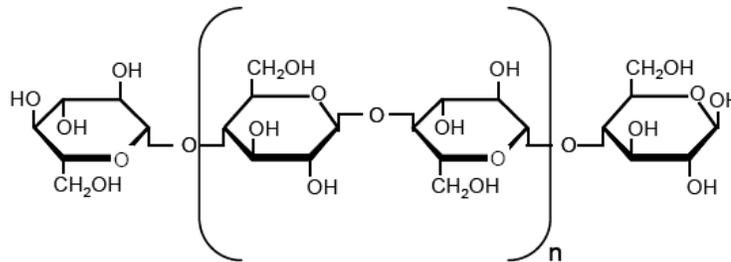
Desde el punto de vista estructural, la celulosa es un polímero lineal, rígido y de peso molecular variable, cuya fórmula empírica es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , con un valor mínimo de  $n=200$  y cuya unidad básica es la D -glucosa que se enlaza mediante un enlace glucosídico en la configuración  $\beta$ -(1-4) dando lugar a la

unidad de celobiosa que se repite exactamente en la cadena polimérica (Figura 2.2).

La configuración más estable es en forma de silla con los grupos hidroxilos en posición ecuatorial. Los grupos OH que se encuentran los dos extremos de la cadena muestran un comportamiento diferente. Mientras que el grupo OH del C<sub>1</sub> que se encuentra a uno de los extremos es un grupo aldehído y por tanto con propiedades reductoras, el grupo OH del grupo C<sub>4</sub> que está situado al extremo opuesto de la cadena es un grupo hidroxil alcohol y en consecuencia no reductor. [10].

En la pared celular, las cadenas de celulosa se agregan formando microfibrillas que constituyen el elemento base de los materiales celulósicos.

Estas moléculas se pueden hidrolizar con dificultad en medios catalizados por ácido. Ente las principales propiedades fisicoquímicas de la celulosa se encuentran el índice o grado de polimerización, la cristalinidad y la porosidad. [11].



**FIGURA 2.3. MOLÉCULA DE CELOBIOSA EN LA CADENA DE CELULOSA**

### **2.2.1.1 Propiedades que la celulosa le confiere a la fibra natural**

Los estudios basados en varios métodos físicos y químicos han indicado que las microfibrillas contienen dos regiones diferenciadas. La primera llamada zona cristalina, formada por moléculas de celulosa ordenadas y la otra denominada amorfa, constituida por moléculas de celulosa menos ordenadas.

El efecto que tiene el grado de orden o cristalinidad sobre las propiedades de una fibra celulósica, como tenacidad, elongación y elasticidad, se encuentra relacionado con la cantidad y características de celulosa en las fibras.

Algunos estudios sobre las fibras de algodón indican que, la elongación a la ruptura aumenta con el decrecimiento del grado de cristalinidad, mientras que la reactividad y el hinchamiento están asociados a las áreas amorfas. [11]

**TABLA II**

<b>Propiedades</b>	<b>Ventajas</b>
Buena absorberencia	Adecuada para prendas de verano, así como para fabricación de toallas, pañuelos y pañales.
Capacidad de soportar altas temperaturas	Esterilizadas en autoclave y no necesitan precauciones especiales en el planchado.
Carece de volumen	Pueden elaborarse hilos compactos tipo crepé
Buen conductor de la electricidad	No acumula electricidad estática
Alta densidad	Telas se sienten más pesadas
Resistente a las polillas	Facilita su almacenamiento

<b>Propiedades</b>	<b>Desventajas</b>
Baja resistencia	La telas se arrugan considerablemente q menos que se les dé un acabado para evitarlo
Dañadas por ácidos minerales y orgánicos	Las manchas de frutas se fijan si no se las lava inmediatamente
Inflamabilidad	Se encienden con rapidez
Resistencia moderada a la luz solar	Si se utiliza para cortinas, éstas deben forrarse

**PROPIEDADES QUE PRESENTAN LAS FIBRAS CON ALTO PORCENTAJE DE CELULOSA**

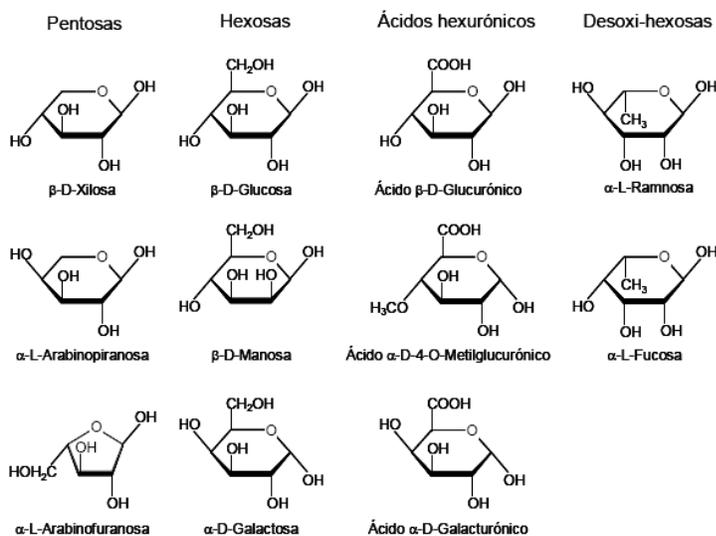
### 2.2.2 Hemicelulosa

Son polisacáridos químicamente heterogéneos, constituidos por diferentes unidades de monosacáridos como pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glicosídicos, que componen estructuras ramificadas y en general amorfas.

Algunas hemicelulosas se relacionan con la porción celulósica, mientras que otras lo con la lignina. Su principal función es ser la matriz soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, presentan menor masa molecular, son más accesibles, más fácilmente degradables y de disolver que la celulosa.

La estructura de la celulosa es la misma en los distintos materiales lignocelulósicos, mientras que el contenido de hemicelulosas, tanto por cantidad como por variedad difiere mucho en función de las distintas especies, tanto si se trata de madera como de otros lignocelulósicos. En el caso de la madera de coníferas se suele apreciar una mayor cantidad de manosa y galactosa mientras que la xilosa es más abundante en las frondosas. En las plantas herbáceas, las hemicelulosas

presentan una gran variedad en composición según las diferentes especies, siendo en algunas predominantes la manosa y la galactosa y en otras la xilosa



**FIGURA 2.4. MONOSACÁRIDOS CONSTITUYENTES DE LA HEMICELULOSA**

### 2.2.3 Lignina

Es un polímero tridimensional amorfo constituido a partir de unidades fenilpropano que se unen entre sí por enlaces tipo alquil-aril-éter o carbono-carbono. Su función es asegurar protección contra la humedad y los agentes atmosféricos y

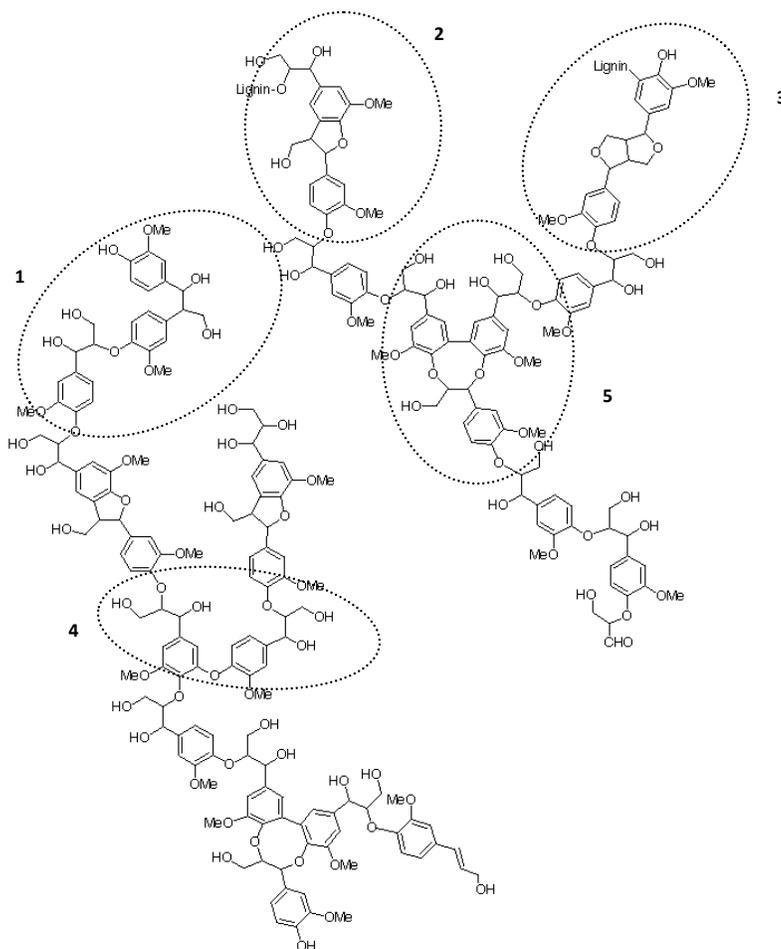
actuar como elemento aglomerante de las fibras. La asociación entre la lignina y los polisacáridos es la que determina la rigidez y la resistencia estructural del material. Durante el desarrollo de las células se incorpora como el último componente de la pared celular, interpenetrando las fibrillas y en consecuencia reforzando la pared celular.

La lignina no se encuentra sólo depositada sobre las fibras celulósicas sino que también existen enlaces covalentes entre la lignina y los carbohidratos como es el caso de la galactosa, la arabinosa o el ácido 4-O-metilglucorónico mecánica.

Las ligninas provenientes de los dos tipos de material presentan algunas diferencias estructurales.

El peso molecular de la lignina es difícil de determinar debido principalmente a las fuertes modificaciones que experimenta su estructura en los tratamientos de separación, a su baja solubilidad y a la tendencia a formar agregados en la mayoría de los disolventes

La estructura química y composición, así como su contenido relativo en el lignocelulósico, dependen de las diferentes especies.



**FIGURA 2.5. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA LIGNINA.**

En la Figura 2.5 se aprecia el modelo para la lignina de coníferas formada por polimerización deshidrogenativa del alcohol coniferílico en el que se muestran las

correspondientes unidades guayacilpropano formando diferentes tipos de subestructuras: **1)** éter guayacilglicerol- $\beta$ -arílico; **2)** fenilcumarano; **3)** pinorresinol; **4)** éter difenílico; y **5)** dibenzodioxocina. La estructura **1** es la más frecuente, ya que 50-60% de las unidades de la lignina están unidas por enlaces  $\beta$ -o-4 (adler, 1977). Mientras que **1-4** son estructuras diméricas, la estructura **5**, recientemente descrita (karhunen *et al.*, 1995), es una estructura trimérica en la que los grupos OH de un bifenilo fenólico forman dos enlaces éter con los OH de los carbonos  $\alpha$  y  $\beta$  de la cadena lateral de una tercera unidad.

#### **2.2.4 Sustancias de bajo peso molecular**

Estos componentes se encuentran proporcionalmente en menor cantidad pero tienen gran influencia en las propiedades y procesamiento de los lignocelulósicos y pertenecen a diferentes clases de compuestos químicos pero simplificando se pueden dividir en dos tipos.

##### *Extractivos*

Son los componentes orgánicos de bajo peso molecular. Se llaman así porque se pueden extraer por lavado con agua o

con solventes orgánicos. Se incluyen dentro de este grupo carbohidratos de bajo peso molecular, terpenos, ácidos alifáticos y aromáticos, alcoholes, flavonoides, lignanos, pentosanos, taninos, alcaloides, ligninas solubles, ceras, etc. Sus funciones en la célula vegetal son de protección exterior y reserva de nutrientes.

### *Cenizas*

Son las sustancias inorgánicas que se pueden determinar por incineración del material entre 575 y 850°C. Fundamentalmente son las sales inorgánicas de calcio, potasio y magnesio, así como sílice en las maderas tropicales. Forman carbonatos, fosfatos, oxalatos y silicatos.

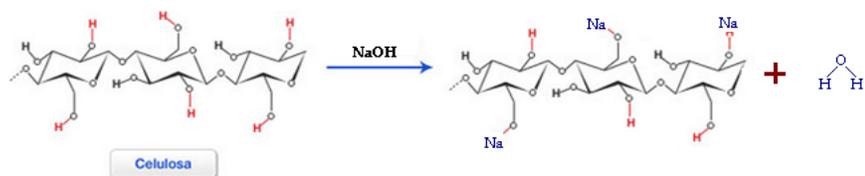
## **2.3 Modificaciones químicas a la fibra lignocelulósica**

### **2.3.1 Tratamiento con álcali**

Un tratamiento alcalino se refiere al tratamiento de fibras con soda cáustica, su nombre se origina del proceso seguido por Jhon Mercer, en 1844, quien observó que había un efecto general de hinchamiento y encogimiento cuando se trataba el

algodón en soluciones de soda, en este proceso se trata al algodón con una solución nominal al 20% de hidróxido de sodio. [12]

El tratamiento se lleva a cabo de acuerdo a la siguiente reacción:



**FIGURA 2.6. REACCIÓN DE LA FIBRA CON HIDRÓXIDO DE SODIO**

Los cambios en la estructura química de la fibra durante el tratamiento con Hidróxido de sodio, dependerá de la concentración del álcali y de la temperatura del proceso.

El ataque alcalino causa la modificación sobre la estructura de la red, reacción basada en la desvinculación del hidrógeno y que además produce la fragmentación de las moléculas de la lignina en segmentos fenólicos más pequeños.

Las fibras naturales antes del tratamiento presentan restos de hemicelulosa en la región interfibrilar que separan las cadenas

de celulosa unas de otras. Al reaccionar el álcali con la hemicelulosa, se destruye la estructura de acoplamiento, separándose las fibras en filamentos más finos y produciéndose una fibrilación que permite el acercamiento de las cadenas celulósicas. Este efecto aumenta la cristalinidad de las fibras y a su vez mejora la resistencia, además de aumentar el área superficial eficaz disponible y disminuir el peso de las mismas. [13]

Luego del tratamiento, los microporos en la superficie de la fibra llegan a ser visibles y esto puede ser debido a la lixiviación de la cera fuera de la cutícula, lo que aumenta la rugosidad de la fibra, facilitando la unión mecánica en la interfase de los composites. [14]

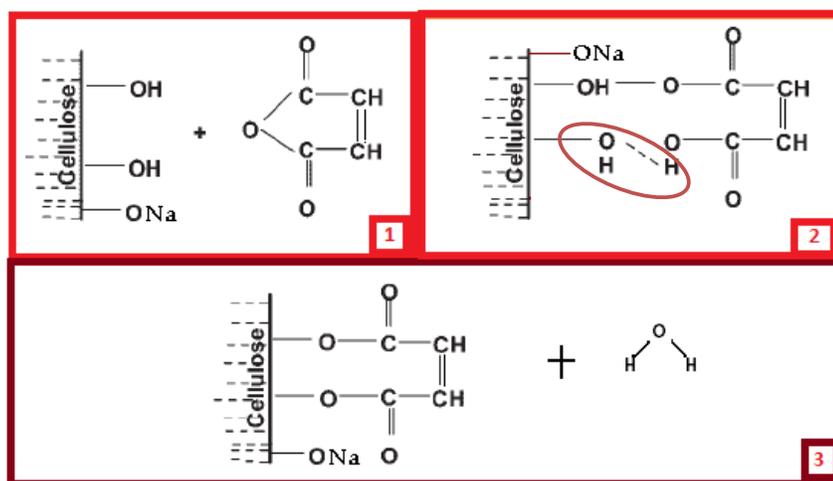
### **2.3.2 Tratamiento con agente de acople**

Dada la naturaleza hidrofílica de las fibras (celulosa) e hidrofóbica de la matriz (PP), es necesario incorporar un agente de acoplamiento que sirva de enlace entre la fibra y la matriz. Este acople ocurre a través de reacciones de

esterificación, que permiten reaccionar los grupos hidrófilos de las muestras de celulosa bien sea con anhídridos, ácidos orgánicos o con copolímeros tipo injerto a base de anhídridos y polímeros biodegradables. [15]

En este estudio se utiliza anhídrido maleico (AM), que reacciona químicamente con la superficie de las fibras, mientras que la cadena polimérica (matriz) es compatible con este agente.

La reacción de esterificación entre la celulosa y el anhídrido maleico ocurre bajo el siguiente mecanismo:



**FIGURA 2.7. MECANISMO DE REACCIÓN DEL ANHIDRIDO MALEICO CON LA FIBRA CELULÓSICA**

Una de las funciones que se le atribuye al agente acople es la de incrementar la energía de superficie, para asegurar una buena humectación. [16]

Se intenta explicar el fenómeno de acople atribuyendo propiedades específicas a la interfase: se supone que hay una zona modificada de matriz alrededor de la fibra que tiene unas propiedades mecánicas intermedias entre las de la fibra y las de la matriz. O también que el agente modifica el comportamiento de la matriz en la región de la superficie de la fibra o el agente adhesivo que contenga grupos R grandes, los cuales, proporcionan una capa de polímero diferente entre la fibra y el resto del polímero. [16]

No se conoce bien las propiedades de estas zonas aunque se acepta que el fenómeno de la modificación puede tener un efecto pronunciado sobre la mayor parte de las propiedades. propuso que el movimiento o los desplazamientos en la interfase podrían relajarlos esfuerzos locales y mantener la unión química si se seguía un mecanismo reversible de la unión. En presencia del agua molecular, que se puede difundir a través de la matriz hacia la interfase, el enlace covalente M-

O se hidroliza. Al ser este proceso reversible, el enlace covalente puede formarse de nuevo cuando el agua se difunda hacia el exterior. Así, en presencia de un esfuerzo cortante sencillo paralelo a la interfase, las superficies pueden deslizarse unas sobre otras sin rotura permanente del enlace.

#### **2.4 Plátano (*Musa Paradisiaca* L)**

Es una planta herbácea de la Familia Musaceae, Género *Musa*, perteneciente a la Especie *Paradisiaca* L. Clasificada taxonómicamente por Carl von Linneo en 1753.

Es una gran hierba perenne con rizoma corto y un pseudotallo compuestos de vainas foliares similares a fustes verticales de hasta 30 cm de diámetro basal que no son leñosos, y alcanzan los 7 m de altura.

En el cormo o rizoma se pueden distinguir dos zonas: a) la externa o cortical, que en apariencia desempeña un papel de protección, y b) la parte central o activa, de la cual salen la parte aérea, o parte radical, o los retoños o hijos.

El racimo es cosechado de 90 a 120 días después de la salida de la inflorescencia, cuando los frutos alcanzan un grado determinado cercano a la maduración. El desarrollo del fruto es partenocárpico (sin polinización). Solo se produce un racimo en su ciclo de vida. Cuando el racimo es cortado, la planta finaliza su ciclo y es reemplazada por uno de los brotes o retoños que antes emitió el cormo o rizoma, por lo que la continuidad del cultivo es por vía vegetativa. Generalmente la planta vieja es desechada para generar espacio y aprovechar los nutrientes.

#### **2.4.1 Cultivo**

El cultivo del plátano se realiza en climas cálidos y húmedos (tropical o subtropical), requiere de suelos porosos, profundos, con textura media o ligera. Las deficiencias minerales del suelo, los ácidos húmicos y la aplicación excesiva de productos químicos, pueden retardar el crecimiento de las raíces o inducir a un mal desarrollo de las mismas.

La compactación del suelo también induce a un débil desarrollo radical. Las raíces crecen rápidamente y son muy

sensibles al exceso de agua, ya que gran parte de las raíces se encuentran en los primeros 30 cm. del perfil del suelo. Este cultivo es sensible a la existencia de la humedad por lo que es muy afectado en épocas de inundaciones y precipitaciones.

Se cultiva en más de 130 países, desde el sudeste asiático de donde es nativa, hasta Oceanía y Sudamérica; el principal productor mundial es la India, de donde proceden casi un cuarto de los frutos comercializados en el mundo, aunque buena parte de los mismos son para consumo doméstico. [17]

El principal exportador es Ecuador, que genera casi un tercio de las exportaciones globales. El volumen de producción de bananas y plátanos sólo es superado por el trigo (*Triticum*spp.), el arroz (*Oryza sativa*) y el maíz (*Zea mays*).

[18]

### 2.4.2 Usos

Por la gran variedad de híbridos, variedades y clones que presentan las plantas de Plátano, se dan distintos tamaños, formas, sabores y consistencia de los frutos, haciendo de los plátanos y, de su pariente: los bananos, un alimento extremadamente versátil.

Del plátano no solo se utilizan sus frutos, sino también la planta como tal, los fitofármacos que de este se derivan poseen propiedades terapéuticas debido a los principios activos que contienen, entre estos: fenoles, tanino, aminas, nucleósidos y ácidos orgánicos. La pulpa del fruto contiene serotonina y dopamina, así como norepinefrina.

Después de cosechada la fruta, se pueden usar los tallos, hojas, flores y raíz, para elaborar harina, vinagre, papel, tortas (pastelería), madera procesada, alimentos para animales, tinturas y otros; de ahí su importancia como cultivo en los países tropicales, porque puede ser un alimento barato y sus subproductos son aprovechados al máximo.

Sus usos abarcan desde aplicaciones medicinales, su parte vegetal (hojas y tallos) tiene importantes aplicaciones en la industria y las artesanías. Tiene un alto valor Nutricional en vitaminas A y C, fósforo y potasio, aunque contiene en pequeñas cantidades otros minerales y vitaminas, su valor calórico es alto.

### **2.4.3 Producción en el Ecuador**

La producción en el Ecuador se encuentra dispersa en todas las provincias de la Costa ecuatoriana, se exporta especialmente a Europa y Estados Unidos y es consumido fundamentalmente por los latinoamericanos.

Existen 180.331 hectáreas de superficie plantadas de la especie Musa. El área de siembra de plátano en la provincia del Oro (Ecuador), es de aproximadamente 42000 Has. [8]

La producción es de 5.274.232 toneladas/año, sin embargo sólo se da valor real a su fruto, el pseudotallo es considerado un desperdicio sin considerar su potencial de reutilización.

Actualmente en la población del Triunfo y Cerecita se trabaja la chanta del plátano; llamada así a la hoja del pseudotallo, para la elaboración de fibras que son convertidas posteriormente en productos del sector artesanal, textil, entre otros.

Otro de los usos de esta fibra es la elaboración de papel de diversas calidades, creación de textiles que están presentes tanto en tapetes como en la alta costura, incluso en la elaboración de puertas y como complemento decorativo.

## **2.5 Uso de las Fibras en los Composites**

El uso de las fibras naturales es extenso y variado, éstas son utilizadas en la industria farmacéutica, para confecciones de artículos y ropa, en la construcción, para elaborar papel, como combustible, con fines agropecuarios, entre otros; pero su actual uso para fabricar compuestos modernos eco-amigables es la que ha llamado la atención.

Los “composites” o materiales compuestos están formados por dos o más componentes de diferente naturaleza, que combinados crean un efecto sinérgico, es decir mejoran las propiedades del sistema en conjunto.

Un composite consta de una matriz (puede ser: metálica, cerámica o polimérica) y un refuerzo (fibras).

El refuerzo fibroso confiere al composite de resistencia mecánica adecuada, mientras que la matriz le dota de elasticidad, resistencia química y térmica. [20]

La mayor parte de las propiedades de los materiales poliméricos reforzados con fibras, están muy ligadas a la morfología característica de la fibra. Entre las características morfológicas de las fibras se encuentran: la longitud, el diámetro, las distribuciones de longitudes y de diámetros en la fracción en volumen, orientación y ordenamiento de las fibras en la matriz.

El refuerzo más utilizado en los composites poliméricos es la fibra de vidrio. Esto se debe a su excelente adherencia fibra- matriz, a sus

propiedades dieléctricas, incombustibilidad, buena resistencia a los agentes químicos, fácil procesamiento y a su resistencia mecánica específica. Sin embargo, el requerimiento energético para su producción y la contaminación asociada al proceso y al término de su vida útil (Todos los aspectos favorables durante el período de uso como estabilidad, resistencia y durabilidad operan en contra de su destrucción), hace importante el encontrar sustitutos menos contaminantes, como lo son las de origen vegetal.

### 2.5.1 Ventajas y desventajas de las Fibras Naturales

Las fibras naturales lignocelulósicas presentan una serie de ventajas y desventajas cuando se pretende aplicarlas como materiales de refuerzo en matrices termoplásticas. [16]

TABLA III

Ventajas	Desventajas
Renovables y Disponibles	Baja estabilidad dimensional
Resistentes	Baja resistencia a microorganismos
Bajo peso específico	Poco termoplásticos
Biodegradables	Temperatura de procesado baja
Económicas	Naturaleza polar (difiere de la matriz)
Sin abrasiones en máquinas de procesamiento	Baja resistencia térmica

#### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS FIBRAS NATURALES

A pesar de las ventajas medioambientales que presentan, el principal obstáculo es la compatibilidad matriz- fibra.

Las fibras naturales tienen carácter hidrofílico, mientras que los polímeros son sustancias hidrófobas. Por lo que es de gran importancia mejorar esta compatibilidad en su zona de interfase. [16] Los mecanismos que afectan la adhesión en la interfase son de tipo:

1. **Mecánico.** Debido a las formas irregulares de la superficie de una fibra y de la matriz polimérica en estado viscoelástico, se obtendrá mayor difusión de las fibras en el polímero si su grado de fluidez y de mojabilidad es elevado. Por lo cual se procura la eliminación de residuos vegetales, de tierra y polvo de la fibra.
2. **Atracción electrostática.** Como consecuencia de la posible carga eléctrica entre ambas superficies, se presentan estas fuerzas. La fuerza de la interfase dependerá de la densidad de carga iónica.
3. **Interdifusión.** La fuerza de la unión entre fibras y polímero, dependerá del grado de enmarañamiento molecular y del número de moléculas implicadas. La interdifusión puede ser promovida por la presencia de

agentes plastificantes y disolventes, dependiendo el grado de difusión de la concentración molecular, de los constituyentes que intervengan y en la facilidad de movimiento molecular.

Con el fin de resolver el problema de adhesión que existe entre la matriz y la fibra, se incorpora un agente de acoplamiento que sirve de enlace entre ellos.

# CAPÍTULO 3

## 3. PARTE EXPERIMENTAL

### 3.1 Reactivos

Los reactivos necesarios para los análisis detallados en este trabajo son los siguientes:

TABLA IV

Reactivos	Método Analítico
Acetona (Q.P.)	Tratamiento químico con anhídrido maleico
Acido Sulfúrico (Q.P.)	Determinación del contenido de Lignina
Agua Destilada	Todos los análisis
Alcohol Etilico (Q.P.)	Determinación de contenido de ceras, grasas y resinas
Anhídrido Maleico	Tratamiento químico con anhídrido maleico
Benceno	Determinación de contenido de ceras, grasas y resinas
Dióxido de Azufre (Q.P.)	Determinación del contenido de celulosa
Hidróxido de Sodio	Tratamiento con álcali
Hipoclorito de Sodio 10%	Determinación del contenido de celulosa
Sulfito de Sodio 2%	Determinación del contenido de celulosa

REACTIVOS PARA LA CARACTERIZACION Y TRATAMIENTO DE LA FIBRA

Para la recolección de la materia prima, se seleccionó la zona rural de la ciudad de Daule, ubicada a 45 km de la ciudad de Guayaquil en la provincia del Guayas como lugar de muestreo.

Como muestra se seleccionaron pseudotallos de plantas de plátano sin daños físicos y sin rastros de descomposición, de los cuales se utilizó 1 metro de su longitud.

El pseudotallo está compuesto por capas, denominadas chantas, las cuales se separan una a una para extraer las fibras.



**FIGURA 3.1. SEGMENTO DE PSEUDOTALLO DE PLÁTANO  
EMPLEADO PARA ANÁLISIS**

### 3.2 Descripción de los Equipos

Los equipos utilizados para la caracterización y tratamiento químico de la fibra de plátano son los siguientes:

- **Balanza Analítica Digital**

Marca Shimadzu, con una capacidad de carga máxima de 320 g. y una precisión de +/- 0.01 gr.



FIGURA 3.2. BALANZA ANALÍTICA

- **Controladores de temperatura con termocupla:** permiten controlar la temperatura de la manta de calentamiento.

- **Desecador:** almacena las muestras libres de agua gracias a su cama de desecante con Gel de Sílice que mantiene el ambiente interior completamente seco.
- **Equipo termogravimétrico (TGA):** se utilizó un equipo Analizador Térmico Shimadzu SDT, modelo Q600.



**FIGURA 3.3. ANALIZADOR TÉRMICO, LEMAT (ESPOL)**

- **Equipo de Reflujo:** consta de una manta térmica, un balón de 250 ml y un condensador de bola.



**FIGURA 3.4. EQUIPO DE REFLUJO**

- **Equipo para ensayos universales INSTRON:** permite realizar ensayos mecánicos de la fibra como tensión, fuerza de carga, entre otros.



**FIGURA 3.5. EQUIPO PARA ENSAYOS UNIVERSALES**

**LEMAT (ESPOL)**

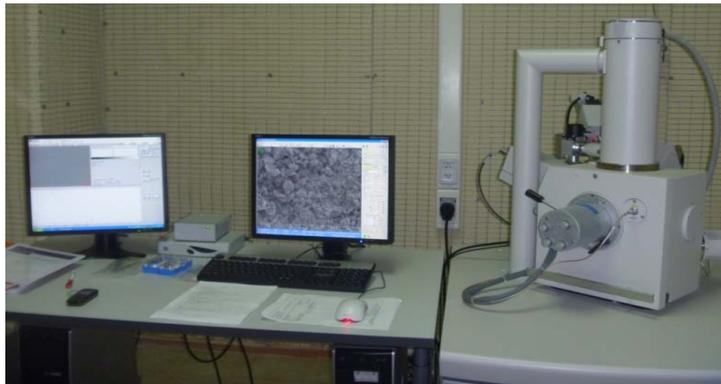
- **Estufa Memmert:** Para analisis de humedad y secado de material de vidrio.



**FIGURA 3.6. ESTUFA**

- **Equipo de Filtración al Vacío:** Consta de un kitasatos, un embudo Buchner y una bomba de vacío, a fin de realizar los lavados de la muestra en menor tiempo.
- **Microscopio electrónico de barrido (SEM) :** Se utilizó el microscopio electrónico de marca FEI y modelo INSPECT, de 5 a 30 KV.

Se trabajó con bajo vacío ya que son muestras no conductoras. El SEM muestra imágenes tridimensionales donde se observa la morfología de la fibra.



**FIGURA 3.7. MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO  
LEMAT, ESPOL.**

- **Prensa Mecánica:** Utilizada en los métodos de extracción de la fibra de plátano (*Musa Paradisiaca L*) de la chanta.



**FIGURA 3.8. PRENSA MECÁNICA**

- **Rotavapor Buchi:** Permite recuperar el solvente del ensayo de ceras, grasas y resinas.

### 3.3 Método para la extracción de la fibra de plátano

Para la extracción de las fibras de plátano de la chanta, se realizaron algunos procedimientos con el fin de seleccionar el método de desfibrado en el que las fibras extraídas tengan la menor cantidad de impurezas y se mantenga la longitud más cercana a las dimensiones de la porción del pseudotallo, sin causar daños considerables a las fibras.

#### 3.3.1 Extracción manual de la fibra

En este proceso se retiran las capas de la chanta y se saca manualmente cada fibra. El proceso resulta más fácil, si se lo hace con la fibra fresca antes de que la masa de la chanta comience a oscurecer.

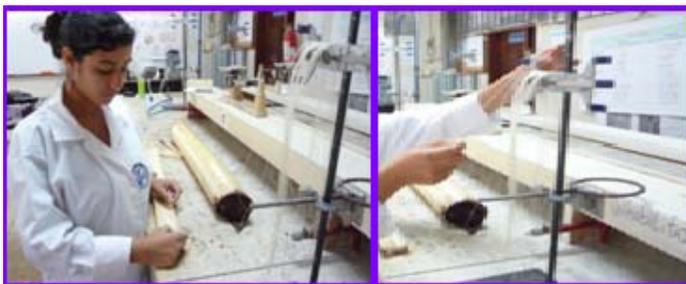
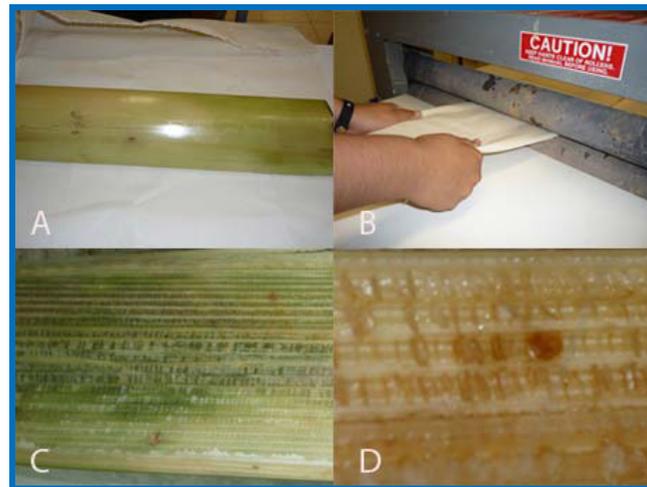


FIGURA 3.9. DESFIBRADO MANUAL

### 3.3.2 Extracción mecánica mediante una prensa

En este proceso se procuró extraer de la chanta la mayor cantidad de agua. Se envuelve la chanta en una tela de liencillo y se la pasa a través de los rodillos de la prensa, se regula la altura poco a poco durante el proceso. Concluido el proceso de prensado se retira la fibra y se procede a extraerla manualmente.



**FIGURA 3.10. DESFIBRADO CON PRENSA**

**3.10.A. CHANTA FRESCA    3.10.B Prensado de la chanta  
3.10.C. CHANTA Prensada    3.10.D. CHANTA PARA DESFIBRAR**

### 3.3.3 Extracción manual de fibra seca y tratamiento con agua caliente

La chanta seca con abundantes impurezas sobre la superficie de las fibras son extraídas manualmente y se someten a un tratamiento con agua caliente a 40 grados Celsius y luego con las impurezas blandas se retira la fibra.

### 3.4 Caracterización Química de la Fibra de Plátano

Para la determinación de las propiedades físicas y la composición química se siguieron los métodos de acuerdo a las siguientes normas establecidas:

**TABLA V**

<b>Parámetro</b>	<b>Norma</b>
Humedad	Tappi T412 su-69
Contenido de ceras y resinas	Tappi T6 os-59
Contenido de lignina	Tappi T13 os-54
Contenido de celulosa	Tappi T17 m-55

#### **NORMAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS**

#### 3.4.1 Determinación del Contenido de humedad

Para determinar la humedad se utilizaron muestras de la fibra fresca, a la cual se la sometió al siguiente procedimiento:

- Se pesa 2 g aproximadamente de la muestra (cortada en segmentos de 5cm para determinar la humedad inicial).
- Se coloca en la estufa a 105°C por un lapso de 3 horas.
- Se lleva la muestra al desecador hasta que se enfríe.
- Se pesa la muestra resultante del proceso.
- Finalmente se calcula el contenido de humedad mediante la fórmula:

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

*M<sub>i</sub>*: Masa inicial

*M<sub>f</sub>*: Masa final

Se realiza el mismo procedimiento para determinar la humedad de la chanta fresca, la cual fue cortada en pedazos de aproximadamente 25 cm<sup>2</sup>.



**FIGURA 3.11. PEDAZOS DE CHANTA**

### 3.4.2 Determinación del contenido de ceras, grasas y resinas

Para la realización de este análisis, se pesan 4 gr de fibra de plátano y se coloca la muestra en un dedal de celulosa cubierto con algodón para evitar pérdidas y se siguen los siguientes pasos:

#### **Preparación del solvente:**

Se coloca 33 volúmenes de  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  (95%) y 67 volúmenes de benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ).

#### **Reflujo en equipo soxhlet:**

Se coloca el dedal en el equipo Soxhlet y se lo mantiene en reflujo constante por 8 horas a  $80^\circ\text{C}$ , permitiendo a las ceras, grasas y resinas acumularse en el extracto.

**Recuperación del solvente:**

El balón se coloca en el rotavapor a 70°C durante 2.5 hrs., permitiendo separar el solvente de la mezcla de ceras, grasas y resinas.

$$\text{Porcentaje de C, G, R} = \frac{M_i - M_f}{M_D \times (1 - H)} \times 100$$

*M<sub>i</sub>*: Masa inicial

*M<sub>f</sub>*: Masa final

*M<sub>D</sub>*: Masa del dedal

*H*: Humedad

**3.4.3 Determinación del contenido de celulosa**

Para proceder con el análisis de porcentaje de celulosa, se pesan 2 gr de la muestra libre de ceras, grasas y resinas.

Se coloca la muestra en un erlenmeyer, al cual se le agrega 50 ml de NaClO al 10% y se deja reposar a temperatura ambiente durante 8 horas.

Se trasvasa el material a un embudo Buchner y la muestra es lavada sucesivamente con 50 ml. de agua, 50 ml de dióxido de azufre, 50 ml. de agua destilada y 50 ml. de sulfito de sodio al 2% en este orden.

Se transfiere la muestra a un vaso de precipitación y se lo deja reposar media hora con 115 ml. de sulfito de sodio al 2% para eliminar cualquier sobrante. Luego se lo filtra al vacío nuevamente con 250 ml. de agua caliente.

La muestra es colocada en la estufa a 105°C, a fin de secarla, luego es colocada en el desecador y finalmente pesada. El contenido de celulosa se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de celulosa} = \frac{M_f}{M_i \times (1 - H)} \times 100$$

*M<sub>i</sub>*: Masa inicial de la muestra de fibra sin CRG

*M<sub>f</sub>*: Masa final de fibra

*H*: Humedad

#### **3.4.4 Determinación del contenido de lignina.**

Para la determinación del contenido de lignina se utiliza la muestra que procede del análisis de los ensayos CGR.

Se pesa un gramo de la muestra tratada con alcohol-benceno (libre de grasas) y se la coloca en un matraz Erlenmeyer de 125 ml., al cual se le añade 15 ml. de  $H_2SO_4$  al 72 %. y se agita continuamente durante 2 horas.

Se coloca la muestra en un balón de 1000 ml. con 560 ml. de agua destilada y se lo coloca a reflujo durante un periodo de 4 horas.

Se deja enfriar y sedimentar la muestra contenida en el balón. Para luego filtrarla (se utiliza vacío para que el proceso resulte más rápido).

Se lava el residuo con 500 ml. de agua caliente y luego se seca la muestra durante 3 horas a 105 °C.

Se enfría la muestra colocándola en el desecador para posteriormente pesarla. Se determina el contenido de lignina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de lignina} = \frac{M_f}{M_i \times (1 - H)} \times 100$$

*M<sub>i</sub>*: Masa inicial de la muestra de fibra sin CRG

*M<sub>f</sub>*: Masa final de fibra

*H*: Humedad

### **3.5 Caracterización Física y Estructural de la Fibra de Plátano**

Los ensayos físicos a los que se sometieron las fibras de plátano muestran el comportamiento que la fibra presenta al ser procesada.

Entre los análisis físicos efectuados tenemos los siguientes:

#### **3.5.1 Tenacidad y Título de la fibra**

Este procedimiento fue realizado en base a la Norma ASTM D 3822- 96, que se aplica para fibras textiles o hilos e indica lo siguiente:

Se escogen 35 fibras individuales de 30 cm. de longitud y se las identifica numéricamente, para su respectivo pesaje y se determina el título de cada fibra individual, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Título} = \frac{M}{L}$$

*M*: Masa de la fibra (gr.)

*L*: Longitud de la fibra (m.)

Para calcular la tenacidad de la fibra de plátano, procedemos a calcular la carga máxima de la ruptura, utilizando el equipo INSTRON en las siguientes condiciones:

- Separación entre mordazas: 5 cm
- Velocidad de separación de las mordazas; 5 mm/min

Se alinea verticalmente la fibra en el centro de las mordazas y se inicia el desplazamiento constante hasta que ocurra la ruptura y se registra la fuerza máxima que soportó la fibra.

Se calcula la tenacidad a través de la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{T}$$

$F$ : Carga Máxima de Ruptura (cN)

$T$ : Título (Tex)

$\sigma$ : Tenacidad (cN/Tex)

### **3.5.2 Termogravimetría (TGA)**

Se analizó la temperatura de descomposición de las fibras de plátano utilizando el TGA, en este análisis la tasa de calentamiento fue de 10°C por minuto en una atmósfera de nitrógeno y un rango de temperatura de 25°C a 800°C.

### **3.5.3 Microscopia Electrónica de Barrido**

En el análisis de Microscopio de barrido se obtuvieron las imágenes tridimensionales de la morfología de la fibra con resoluciones a 40µm y 200 µm.

## **3.6 Tratamiento Químico de la Fibra de Plátano**

El propósito de los tratamientos químicos a las fibras de plátano es retirar la lignina, la hemicelulosa, la pectina, ceras, resinas y otros elementos que mantiene a la celulosa en una red y modificar la

superficie de las mismas para permitir el acople con otra substancia (matriz polimérica).

### 3.6.1 Tratamiento con álcali a diferentes concentraciones

El tratamiento con NaOH permite disolver la lignina, con el fin de liberar la celulosa de las impurezas que imposibilitan su acople.

El tratamiento consiste en pesar entre 5 a 6 g de fibra y colocar la muestra de fibra a ebullición en soluciones de hidróxido de sodio a concentraciones de 0,1N, 1N y 4N durante una hora bajo reflujo, transcurrido el tiempo se lava la fibra, se seca y finalmente se pesa y se calcula la pérdida de peso después del tratamiento, según la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de la pérdida de peso} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

$M_i$ : Masa inicial de fibra

$M_f$ : Masa final de fibra



**FIGURA 3.12. TRATAMIENTO DE LA FIBRA CON NaOH**

### **3.6.2 Tratamiento con Anhídrido Maleico**

Para modificar la superficie de la celulosa se efectuaron reacciones de acoplamiento utilizando como agente el anhídrido maleico en una solución de acetona.

Después de cada tratamiento de las fibras con las soluciones de hidróxido de sodio se las lava y deja secar en un desecador.

Después de pesar la muestra se coloca las fibras en un balón de 1000 ml. y se agrega la solución de anhídrido maléico en acetona en una proporción de 10 g de anhídrido maléico por cada 100 g de fibra. Bajo condiciones de reflujo se lo deja durante 24 horas, se secan las muestras y finalmente se pesa.



**FIGURA 3.13. TRATAMIENTO DE LA FIBRA CON AM**

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1 Extracción de la fibra

Entre los métodos utilizados para realizar la extracción de la fibra sin causar daños a su composición o estructura, el que mejores resultados presenta fue la extracción manual con la fibra húmeda.

TABLA VI

	Fibra Extraída Manualmente	Chanta Prensada	Fibra seca	Fibra tratada con agua caliente
Imágenes de fibra según la extracción				
Valoración del	Proceso meticuloso, se limpia una a una las fibras	Se emplea menos tiempo.	Trabajo complejo y largo, extraer y limpiar la fibra una vez seca.	Emplea poco tiempo, y es sencillo.
Resultados	Fibra blanca, con pocas impurezas notorias	Oscurecimiento de las fibras, presenta impurezas	Presenta muchas impurezas difíciles de quitar.	Fibra opaca y oscurecida, sin impurezas aparentes.

### TIPOS DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DE PLÁTANO

#### 4.2 Composición Química de la Fibra de Plátano

De los análisis efectuados sobre la composición química presentada por la fibra del plátano que incluyen el porcentaje de: celulosa, lignina, ceras, grasas y resinas, expresados sobre la muestra seca se obtienen los resultados promedios. (Tabla VII)

**TABLA VII**

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje</b>
Ceras, Grasas y Resinas*	11.99%
Lignina *	13.40%
Celulosa*	73.35%

#### **COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE PLÁTANO**

Los valores de composición de la fibra de plátano se encuentran dentro del rango que generalmente presentan las fibras lignocelulósicas.

El porcentaje de celulosa que posee esta fibra incluso se equipara con el de sisal (Tabla I), fibra que ya ha sido empleada en composites como refuerzo.

Pero así mismo, el porcentaje de lignina es un poco mayor al que presenta el sisal. Esta substancia resulta inconveniente en los procesos de adhesión de la fibra en los composites, sin embargo

puede ser fácilmente removida con un tratamiento químico adecuado a base de álcalis.

En la determinación de la humedad de la fibra es importante tener en cuenta que la variabilidad de los resultados obtenidos se relaciona con la humedad relativa del ambiente, que provoca pérdida o absorción de agua en la fibra. Puesto que los análisis se realizaron en días distintos, se observan diferencias entre ellos. Incluso a lo largo de un día se presentan variaciones en la humedad ambiental, por lo que la humedad de la fibra oscila.

La humedad promedio que presenta la fibra de plátano es 10.63%, mientras que la chanta de plátano posee aproximadamente 92.31%. Estos valores muestran que la *Musa Paradisiaca* está en mayor parte compuesta de agua, sin embargo se observó que la descomposición y deshidratación de la chanta del pseudotallo (oscurecimiento), toma aproximadamente 2 semanas luego de ser cortada, valores que varían según la humedad ambiental.



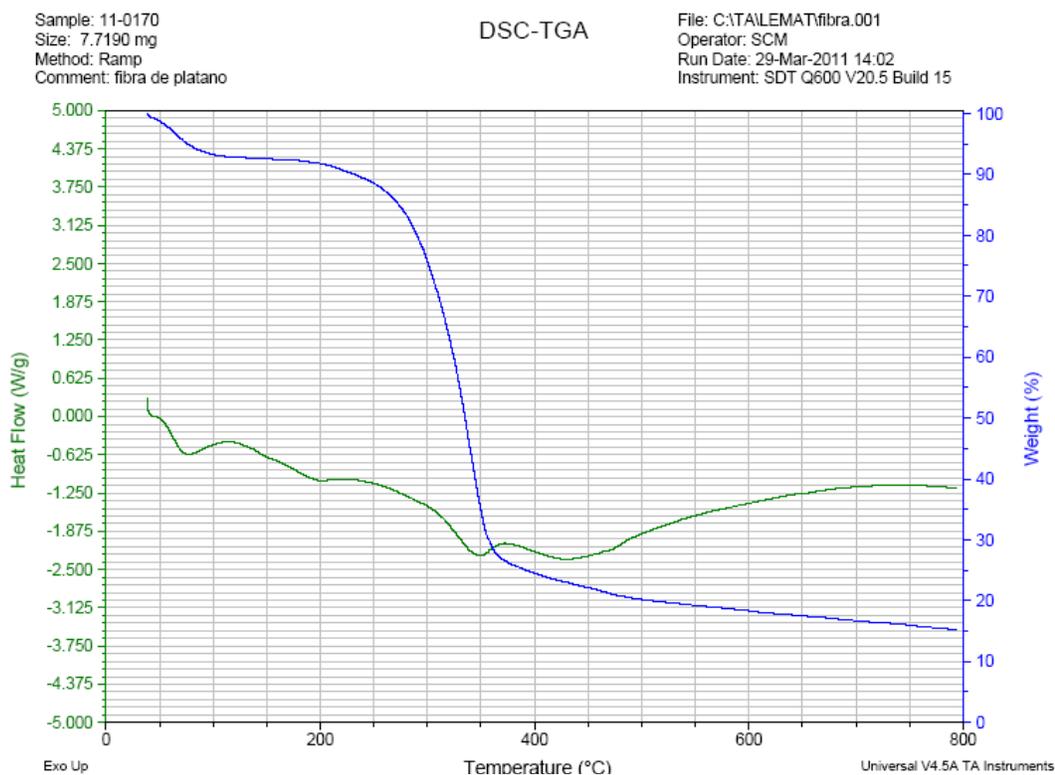
**FIGURA 4.1. CHANTA DE PLÁTANO FRESCA**

En el análisis Termogravimétrico, se evidencia la descomposición de la fibra a altas temperaturas de acuerdo a las diferentes estructuras químicas presentes y el porcentaje en masa perdido.

En la Figura 4.2, se muestra que la descomposición principal ocurre en el rango de 200-370°C, con una pérdida de masa del 65%, producto de la degradación térmica de la celulosa, que ocurre en dos etapas: la primera ocurre por la ruptura de enlaces y generación de radicales libres y grupos carboxilos y carbonilos, además de carbón provocando la reducción de la longitud de la cadena. Y la segunda etapa consiste en la depolimerización de la celulosa por ruptura de unidades glucosídicas y formación de levoglucosano.

La evaporación de la humedad así como a la descomposición de compuestos de bajo peso molecular, se evidencia como una pequeña pérdida de masa en el rango de 25-150 °C. La degradación de la lignina y la celulosa ocurre a más de 370°C.

A temperaturas mayores a 800°C. existen no menos del 15% de residuos sólidos.



**FIGURA 4.2. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA) DE LA FIBRA**

### 4.3 Propiedades Mecánicas de la Fibra de Plátano

Como resultado de la evaluación de las propiedades mecánicas de la fibra, importantes para el procesamiento de las fibras, se presentaron los siguientes valores promedios:

TABLA VIII

Propiedad	Valor
Masa de cada fibra/ metro	23.5 gr/m.
Título	0.235 Tex
Fuerza Carga de Ruptura	608 cN
Tenacidad	25.85 cN/Tex

**PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE PLÁTANO**

El título (finura) de la fibra de plátano se encuentra en los rangos usualmente expresados para las fibras naturales, aunque entre cada fibra exista una gran variabilidad debido a la poca uniformidad entre ellas.

La aleatoriedad entre las tenacidad, fuerza máxima a rotura por tracción/Tex, muestra que algunas fibras se rompen fácilmente mientras que otras poseen mayor resistencia. Así evidenciamos la tenacidad depende del título que presente cada fibra, las fibras con menor título se romperán más fácilmente (menor carga de ruptura) que aquellas con mayor título.



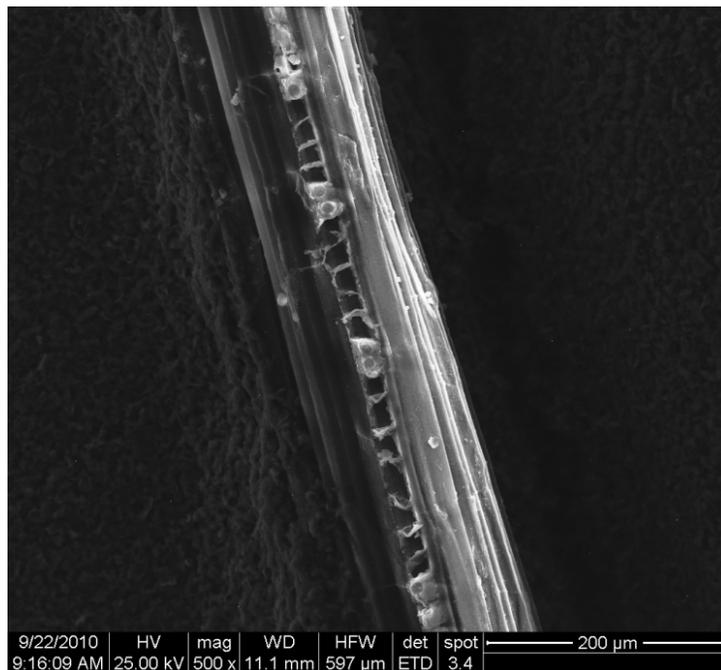
**FIGURA 4.3. ANÁLISIS DE FUERZA MÁXIMA A ROTURA POR TRACCIÓN**

#### **4.4 Morfología de la Fibra de Plátano**

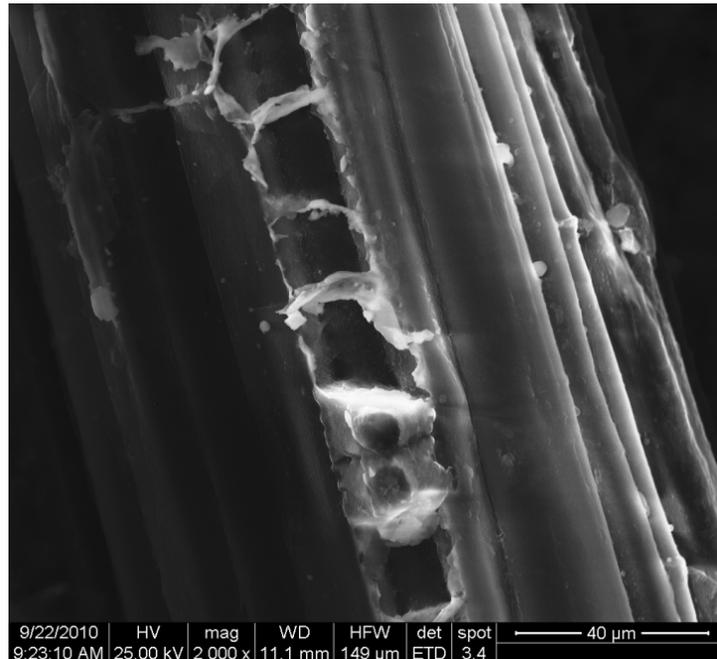
La fibra de plátano al igual que las demás fibras vegetales está compuesta de materiales celulósicos y no celulósicos.

A través de la microscopía se evidencia la conformación estructural que consta de una matriz de formada por microfibrillas de lignocelulosa dentro de una red formada por hemicelulosa semicristalina y pectina (ente otros, como pentosanos). Figura 4.5

Las microfibrillas de celulosa se encuentran fuertemente unidas entre sí por puentes de hidrógeno y están formadas por regiones de celulosa amorfa y cristalina, mayoritariamente responsables de las propiedades mecánicas que exhibe esta fibra.



**FIGURA 4.4. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO  
DE LA FIBRA DE PLÁTANO A 200μm**



**FIGURA 4.5. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO  
DE LA FIBRA DE PLÁTANO A 40μm**

#### **4.5 Tratamiento con álcali**

El tratamiento de la fibra con soluciones de hidróxido de sodio pretende liberar la celulosa, de la red formada por la lignina, pectina y otras impurezas.

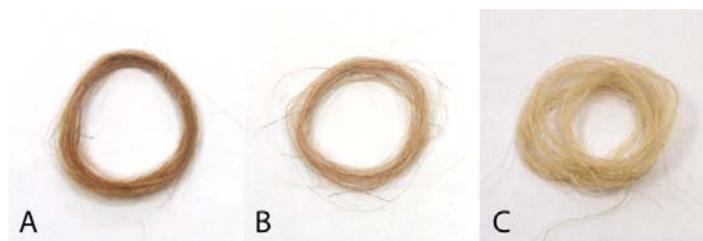
Las muestras de fibra de plátano posterior al tratamiento con las soluciones de NaOH son secadas y pesadas, obteniendo los resultados detallados en la Tabla IX.

TABLA IX

Muestra	Concentración de las soluciones alcalinas	Masa inicial (g)	Masa final (g)	% masa perdida
A	0,1 N	5,400	4,17	22,78
B	1 N	4,785	2,896	39,50
C	4 N	4,925	3,18	35,43

#### PORCENTAJE DE LA PÉRDIDA DE MASA DE LA FIBRA DE PLÁTANO

Las fibras luego del tratamiento con álcali presentan otro aspecto físico: la muestra A posee rigidez y aún presencia de impurezas, la muestra B se encuentra más clara y suave, mientras que la muestra C presenta mayor desfibrado y blancura.



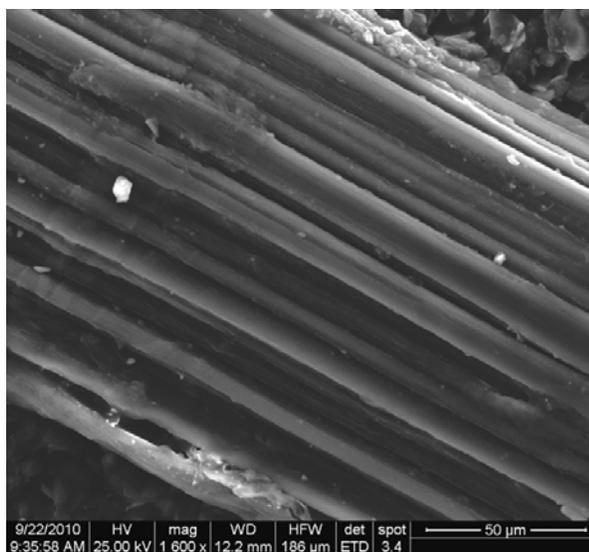
**FIGURA 4.6. MUESTRAS DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADAS CON SOLUCIONES DE NaOH A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

Las soluciones donde fueron tratadas las fibras se tornan oscuras, marrones, ya que en ellas se encuentran todas las sustancias e impurezas que reaccionaron con el Hidróxido de sodio.

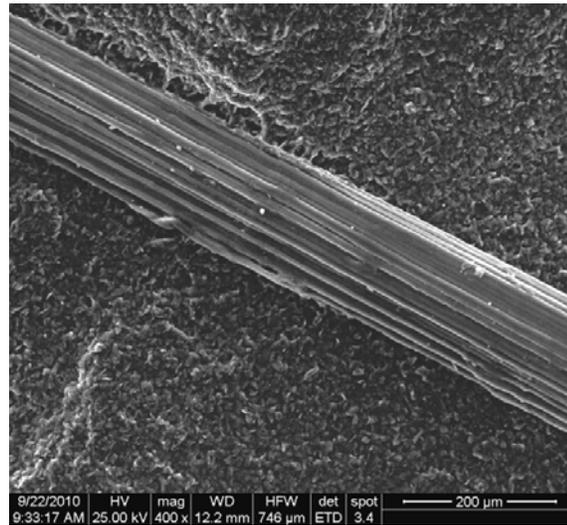


**FIGURA 4.7. SOLUCIONES DE NaOH POSTERIOR AL TRATAMIENTO DE LA FIBRA DE PLÁTANO**

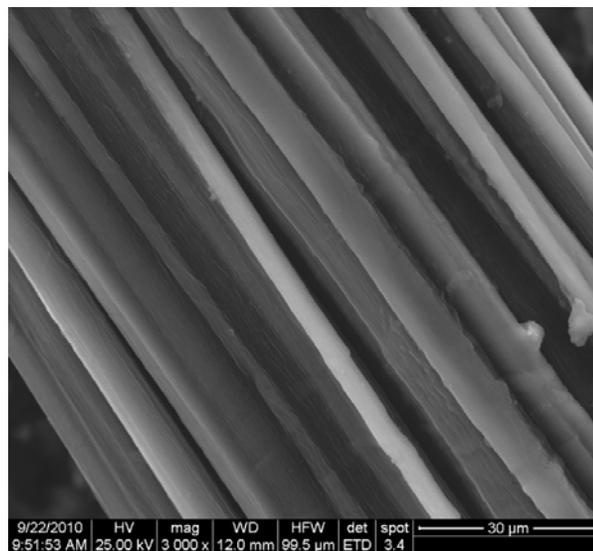
Mediante la microscopía de barrido comprobamos la eficacia del tratamiento alcalino de la fibra, observamos en las figuras 4.7- 4.12, como la red que antes unía las microfibrillas celulósicas, desaparece según la concentración de solución de hidróxido de sodio empleada.



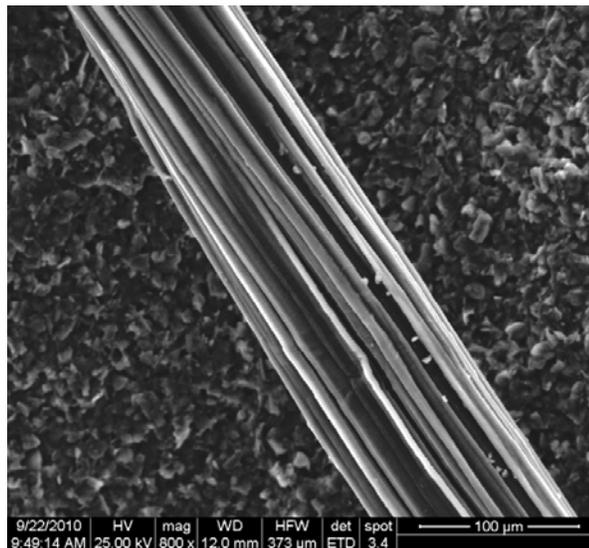
**FIGURA 4.8. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON 0,1 N NaOH (50μm)**



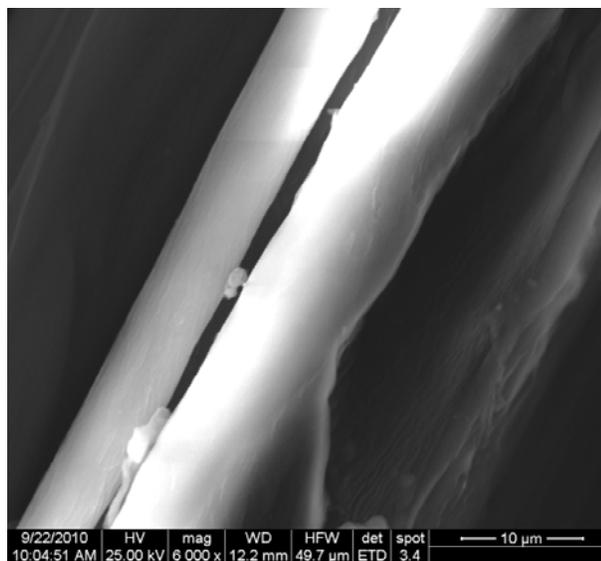
**FIGURA 4.9. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO  
DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON 0,1 N NaOH (200μm)**



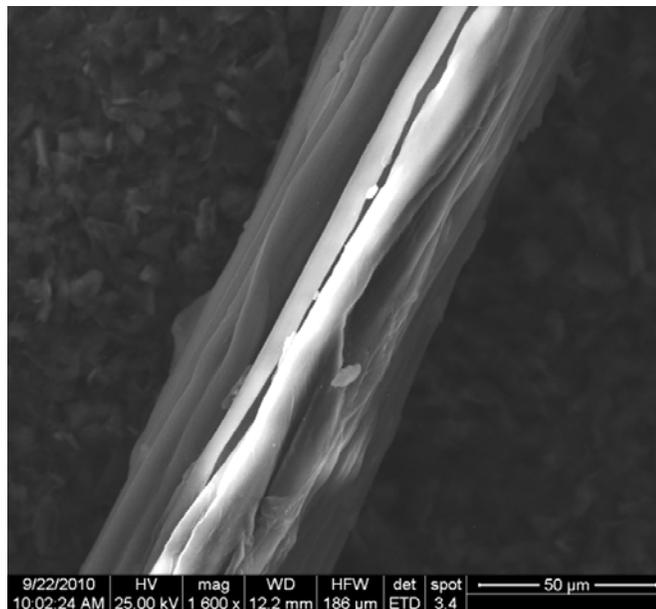
**FIGURA 4.10. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO  
DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON 1 N NaOH (30μm)**



**FIGURA 4.11. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO  
DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON 1 N NaOH (100μm)**



**FIGURA 4.12. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO  
DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON 4 N NaOH (10μm)**



**FIGURA 4.13. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO  
DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON 4 N NaOH (50μm)**

Se observa en las imágenes 4.11 y 4.12, la fibra posterior al tratamiento con la solución de NaOH 4N, las microfibrillas de celulosa y la presencia de la hemicelulosa, sin impurezas perceptibles, sin embargo se nota un poco de deterioro en la constitución de la fibra, lo que se manifiesta en sus propiedades físicas.

#### 4.6 Tratamiento con Anhídrido Maleico

Se modifica la superficie de la celulosa utilizando anhídrido maleico como agente como agente de acople, sólo se realiza este procedimiento a las fibras tratadas con soluciones de NaOH a 1N y 4N, ya que con ellas se logró una mayor eliminación de impurezas.

Se pesa la fibra antes y después del tratamiento obteniéndose los siguientes resultados expresados en la siguiente tabla.

TABLA X

Concentración de NaOH anteriormente empleada	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia de masa (g)
1 N NaOH	2,383	2,388	-0,005
4 N NaOH	2.445	2,357	0,088

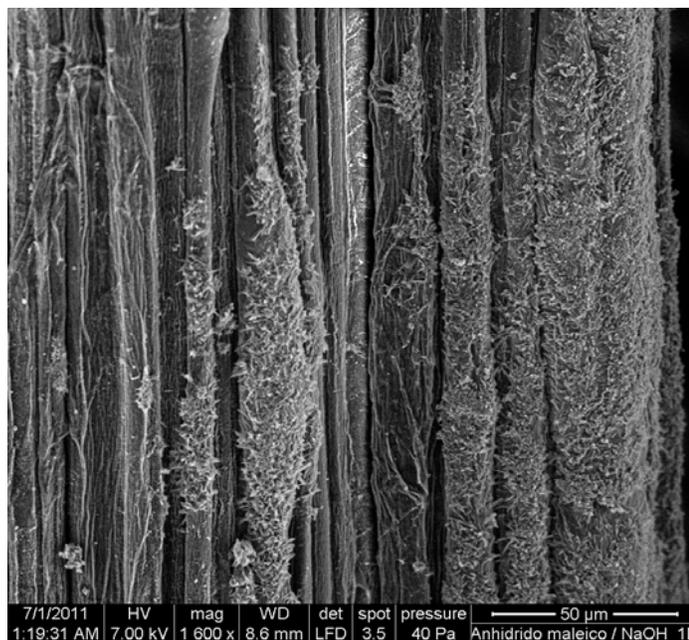
#### VARIACIÓN DE MASA EN LA FIBRA TRATADA CON ANHIDRIDO MALEICO Y ANTERIORMENTE CON NaOH

Notamos un incremento de masa en algunos casos como resultado del acople de anhídrido a la estructura lignocelulósica y en otros una pérdida de masa, interpretándose como una reacción en la que el producto pasa a la solución en la que fue tratada la fibra.

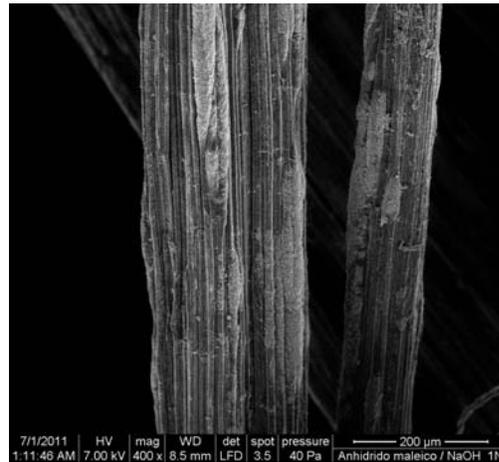
Su aspecto físico también varía un poco siendo la tratada previamente con la solución NaOH [4N], mucho más suave y ondulada, que la tratada con NaOH [1N].

Utilizamos la microscopía de barrido para analizar estructural y morfológicamente el cambio que ocurre en la superficie de la fibra durante el acople con anhídrido maleico.

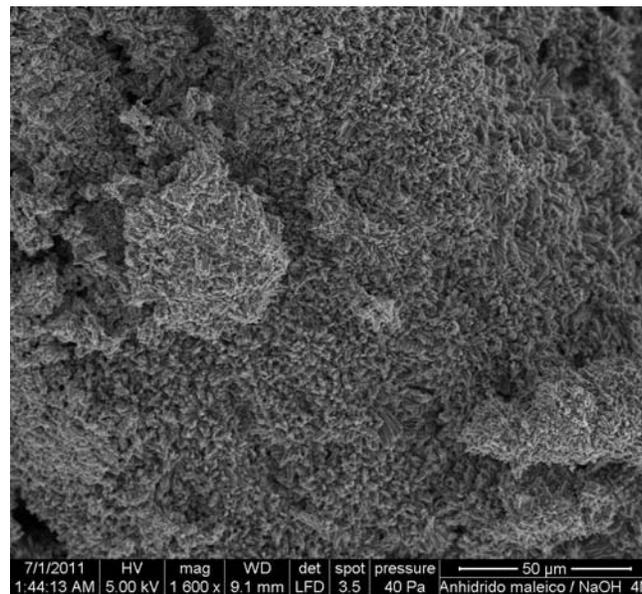
Observamos en la figura 4.14, el AM recubre parcialmente las fibras lignocelulósicas mientras que en la figura 4.16, lo hace completamente.



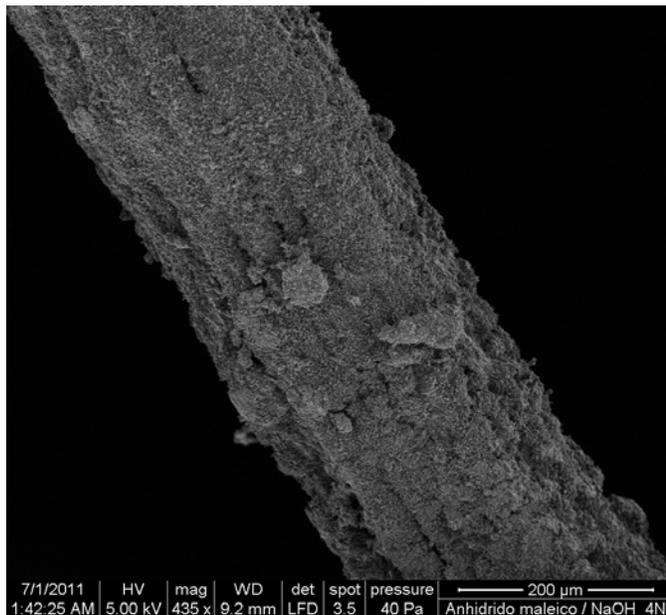
**FIGURA 4.14. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON NaOH 1 N Y ANHDRIDO MALEICO (50μm)**



**FIGURA 4.15. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON NaOH 1 N Y ANHDRIDO MALEICO (200µm)**

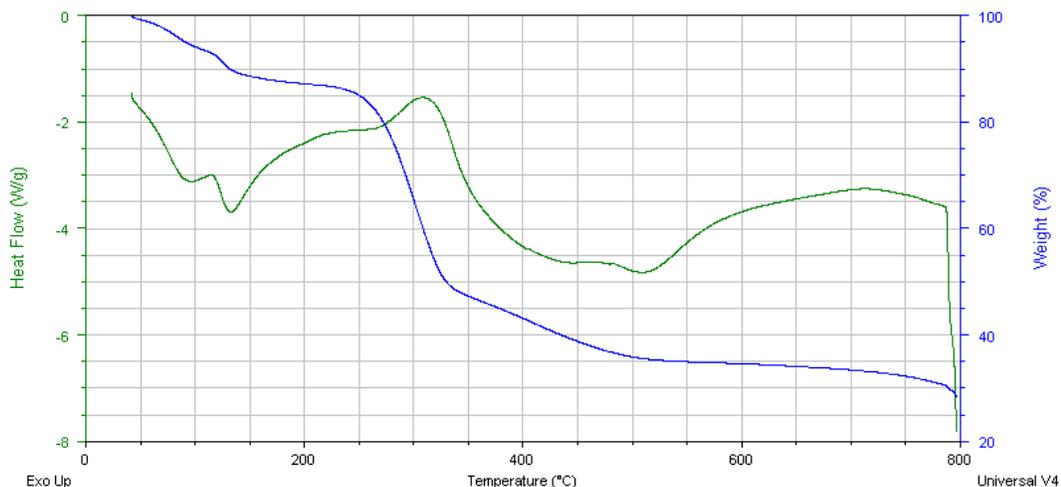


**FIGURA 4.16. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE FIBRA DE PLÁTANO TRATADA CON NaOH 4 N Y ANHDRIDO MALEICO (50µm)**



**FIGURA 4.17. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE FIBRA  
DE PLÁTANO TRATADA CON NaOH 4 N Y ANHDRIDO MALEICO (200μm)**

Se realiza además un análisis Termogravimétrico a la muestra tratada con una solución de NaOH, concentración 1N y Anhídrido Maleico, para diferenciar cambios en su descomposición térmica, obteniéndose los resultados de la figura 4.17.



**FIGURA 4.18. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA) DE LA FIBRA TRATADA CON SOLUCIÓN NaOH 1N y ANHIDRIDO MALEICO**

Se muestra que la descomposición principal ocurre en el rango de 225-330°C, con una pérdida de masa del 45%, producto de la degradación térmica de la celulosa y de la remoción de la lignina original. También ocurre una descomposición más lenta desde 330-500°C, con una pérdida de masa del 13%.

La evaporación de la humedad así como a la descomposición de compuestos de bajo peso molecular, se evidencia como una pequeña pérdida de masa en el rango de 25-150 °C.

A temperaturas mayores a 500°C, observamos el porcentaje de residuos sólidos remanentes (35%).

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Se concluye que entre los métodos de extracción de la fibra, el más eficiente en remoción de impurezas y mejor calidad es la extracción manual con fibra húmeda.
- La caracterización química de la fibra de plátano evidencia que esta fibra posee gran potencial como refuerzo, gracias a su elevado porcentaje de celulosa.
- Los valores obtenidos de la caracterización física y mecánica, indican que su procesamiento es viable si se realiza un adecuado tratamiento químico a fin de mejorar su polaridad y características superficiales, que le permitan acoplarse con una matriz polimérica (hidrófoba).

- Del tratamiento con álcali al que se sometió la fibra, se puede establecer que la concentración de la solución de NaOH que elimina las impurezas, en especial la lignina, sin maltratar las microfibrillas de celulosa, es la de [1 N].
- Mediante el análisis termogravimétrico se observó la disminución del contenido de lignina, producto de la eficacia del tratamiento con Hidróxido de Sodio.
- Utilizando el SEM, se muestra que el tratamiento con el agente de acople, es efectivo, ya que el anhídrido maleico se adhiere a la superficie de la fibra, parcialmente en el caso de la tratada con NaOH [1 N] y completa, en el caso de la tratada con NaOH [4N].

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar este estudio como soporte para realizar trabajos posteriores que estudien la adhesión de esta fibra tratada con anhídrido maleico a una matriz polimérica, preferiblemente con polipropileno.
- Este trabajo puede ser aplicado en otras fibras naturales, como la paja toquilla, palma de coco, nigüito, etc., con el fin de confirmar su potencial uso como refuerzo en composites u otro aprovechamiento industrial sostenible.
- Se puede realizar el tratamiento de adhesión con el agente de acople utilizando otro tipo de equipos (con agitación), que mejoren la uniformidad y el acople entre el agente (anhídrido maleico) y la fibra natural.



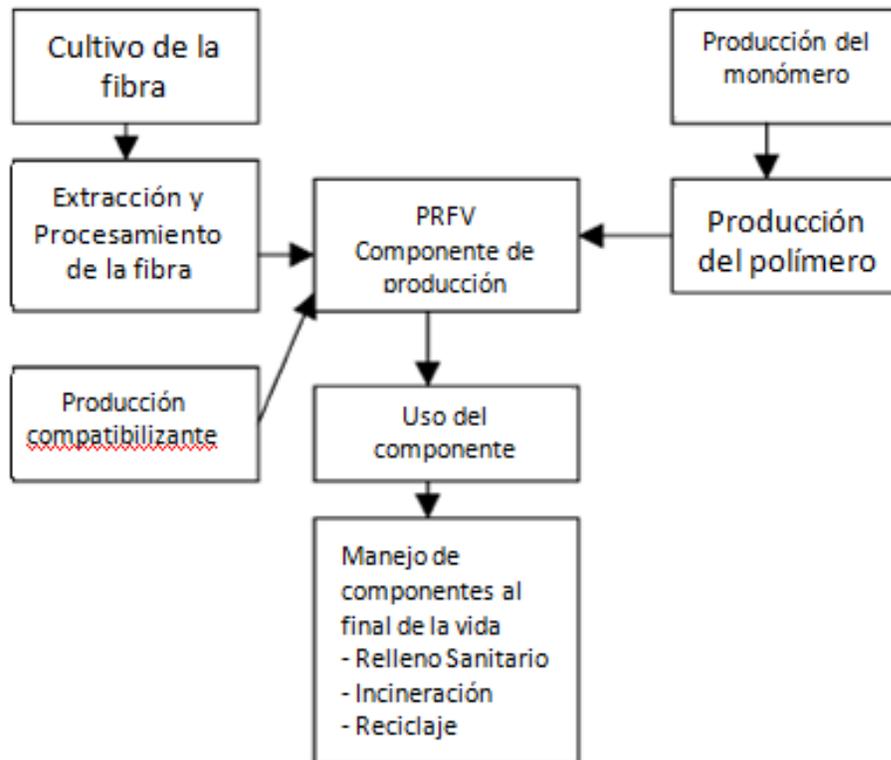
# **APÉNDICES**



# APÉNDICE A

# APÉNDICE A1

## Ciclo de Vida de una fibra natural como componente en un composite



Fuente: Natural fibres: can they replace glass in fiber reinforced plastics?

# APÉNDICE A2

## Impacto Ambientales del ciclo de vida para la producción de un panel de auto

Component material → environmental indicator ↓	ABS copolymer	Hemp-Epoxy
Total energy (MJ)	132	73
CO <sub>2</sub> emissions (kg)	4.97	4.19
Methane (g)	17.43	16.96
SO <sub>2</sub> (g)	17.54	10.70
NO <sub>x</sub> (g)	14.14	18.64
CO (g)	4.44	2.14
Phosphate emissions to water (g)	0	0.09
Nitrate emissions to water (g)	0.08	12.05

Fuente: Wotzel, Wirth and Flake

# APÉNDICE A3

## Requerimientos energéticos no renovables para la producción de diferentes fibras (Mj/Kg)

---

Nonrenewable energy requirements (MJ/kg)

---

Glass fiber mat <sup>a</sup>		Flax fiber mat <sup>a</sup>		China reed fiber <sup>b</sup>	
Raw materials	1.7	Seed production	0.05	Cultivation	2.50
Mixture	1.0	Fertilizers	1.0	Transport plant	0.40
Transport	1.6	Transport	0.9	Fiber extraction	0.08
Melting	21.5	Cultivation	2.0	Fiber grinding	0.40
Spinning	5.9	Fiber separation	2.7	Transport fiber	0.26
Mat production	23.0	Mat production	2.9		
Total	54.7	Total	9.55	Total	3.64

---

# APÉNDICE A4

## Impactos Ambientales del ciclo de vida de la producción de fibra de vidrio, fibra de caña china, resina epóxica ABS, y polipropileno

Environmental impact	Glass fiber <sup>a</sup>	China reed fiber <sup>a</sup>	Epoxy resin <sup>b</sup>	ABS <sup>b</sup>	Polypropylene <sup>b</sup>
Energy use (MJ/kg)	48.33	3.64	140.71	95.02	77.19
Carbon di-oxide emissions (kg/kg)	2.04	0.66	5.90	3.10	1.85
CO emissions (g/kg)	0.80	0.44	2.20	3.80	0.72
SO <sub>x</sub> emissions (g/kg)	8.79	1.23	19.00	10.00	12.94
NO <sub>x</sub> emissions (g/kg)	2.93	1.07	35.00	11.00	9.57
Particulate matter (g/kg)	1.04	0.24	15.0	2.90	1.48
BOD to water (mg/kg)	1.75	0.36	1200	33	33.94
COD to water (mg/kg)	18.81	2.27	51,000	2200	178.92
Nitrates to water(mg/kg)	14.00	24481	1	71	18.78
Phosphates to water (mg/kg)	43.06	233.6	220	120	3.39

Fuente: Corbiere-Nicollier et al. 2001

# **APÉNDICE B**

# APÉNDICE B1

## Características, Usos y Ventajas de diferentes fibras

FIBRAS NATURALES				
ORIGEN ANIMAL				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>FIELTRO</b>	Tejido que se fabrica entrelazando fibras de lana sin hilar a veces mezcladas con pequeñas cantidades de fibras vegetales (algodón...) o sintéticas (rayón...)	- Almohadillas de entintado para impresoras automáticas. - Para pulir granito, vidrio y algunos metales. - Amortiguadores de vibración para maquinaria y aislamientos acústicos. - Fieltro de lana: para fabricar sombreros y otra prendas	Su elasticidad hace que sea el único material adecuado para las sordinas de los pianos y otros instrumentos.	
<b>MOHAIR</b>	Es pelo de cabra. Se hila puro o mezclado con lana de carnero.	Abrigos, vestidos, mantas y alfombras.	Es muy resistente al desgaste, bastante flexible y posee un fuerte brillo.	

FIBRAS NATURALES				
FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>ALGODÓN</b>	Es una forma pura de celulosa de alta cristalinidad. Es la fibra de la semilla del algodón.	Textil	Fresco, flexible, no acumula electricidad estática. Tiene alta resistencia al rasgado y al frote, gran poder absorbente, no se apelmaza y es muy duradero. Resiste bien la plancha.	Encoge si se lava a demasiada T° y tiende a arrugarse.
<b>CAPOC</b>	Es una fibra similar al algodón obtenida de las semillas del árbol de la especie Ceiba Pentandra. Al ser corta y frágil no puede hilarse igual que éste.	Relleno en tapicería. Chalecos salvavidas. Material aislante.	Ligero. Propiedades repelentes del agua.	
<b>LINO</b>	Fibras obtenidas del tallo de las plantas de la cual coge su nombre. Se debe lavar siempre a mano, nunca debe centrifugarse, ni lavarse a T° altas.	Ropa de cama, manteles, telas para velas y en menor medida para ropa de vestir.	Fácil de teñir. Es muy fresca debido a que absorbe mucha humedad. Agradable al tacto. No acumula electricidad estática.	Fuerte tendencia a arrugarse.

FIBRAS NATURALES				
FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
RAFIA	Hierba de aproximadamente 1 m de altura, de cuyas hojas se extrae una fibra.	Confección de sombreros, esteras, cesta...		
RAMIO	Fibra lustrosa más fuerte que el algodón.	Confección de cordeles. Los tejidos (suelen ir mezclados con otras fibras) se usan en colchonería, tapicería.	Resistente a los productos químicos, al mildiu. Fijan bien los tintes. Es duradera y suave.	Difícil de hilar. Tendencia a arrugarse.
ESPARTO	También llamado atocha.	Para la industria del papel. Su uso principal: la fabricación de cestas y cuerdas.		
YUTE	Se extrae de los tallos del yute. Absorbe humedad, es muy sensible a los ácidos, las lejías no le afectan.	Para tejidos para embalajes como sacos y también para cordonería.		

FIBRAS NATURALES				
FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
CÁÑAMO	Fibra fuerte y dúctil.	Con él se confeccionan numerosos géneros textiles: -Tejidos bastos -Cuerdas -Lonas para fabricar velas y sacos.		
CÁÑAMO DE CUERDA	Fibra similar al cáñamo. Es larga, sedosa, elástica.	-Fabricar cuerdas de arco -Cabos -Esteras -Tejidos bastos	Resistente a la putrefacción por el agua. Fuerte.	
CÁÑAMO DE MANILA		Las fibras finas se usa para fabricar tejidos. Las más bastas, para cuerdas y cabos.		

FIBRAS NATURALES				
FIBRAS DE ORIGEN MINERAL				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>FIBRA DE VIDRIO</b>	Fabricada a partir de estirar el vidrio fundido. Se pueden producir tanto hilos multifilamento largos y continuos, como fibras cortas. Impregnando F. de vidrio con plásticos se forma un tipo de compuesto que combina la solidez y estabilidad química del vidrio con la resistencia al impacto del plástico.	-Una vez tejida para formar telas resulta un excelente material para cortinas, tapicería. -Los tejidos de F. de vidrio sola o en combinación con resinas: son un aislante eléctrico excelente. -Transmitir señales ópticas en comunicaciones informáticas, telefónicas (fibra óptica).	Estabilidad química, solidez, resistente al fuego y al agua.	
<b>FIBRA ÓPTICA</b>	Fibra o varilla de vidrio que se emplea para transmitir luz. El principio en que se basa la transmisión de la luz por la fibra, es la reflexión interna total.	-Tranmisión de luz a lugares que sería difíciles de iluminar de otro modo: la cavidad perforada por la turbina de un dentista. -Transmitir imágenes (en instrumentos médicos) -Para efectuar cirugía con láser. -Sensores -Comunicación.	Cuando la luz entra por uno de los extremos de la fibra, se transmite con muy pocas pérdidas aunque la fibra esté curvada.	

FIBRAS NATURALES				
FIBRAS DE ORIGEN MINERAL				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>AMIANTO</b>	Forma fibrosa de varios minerales y silicatos hidratados de magnesio. También se le llama a formas fibrosas de calcio y hierro. Las fibras más largas se usan para tejidos (asociados con el algodón o rayón) y los más cortos, para producir moldeados como tuberías o protectores.	-Productos ignífugos (ropa para bomberos) -Productos aislantes (para tuberías de agua caliente) -En materiales de construcción -Textiles -Piezas de aviones y misiles, asfaltos, pinturas, pastillas de freno.	No es inflamable. Aisla bien del calor.	La inhalación de polvo de amianto o de asbesto puede producir asbestosis, una enfermedad pulmonar, cáncer y diversas enfermedades.
FIBRAS CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE				
<b>RAYÓN</b>	Su materia prima es la celulosa de la madera del abeto, la cual se mezcla con ácidos como nítrico o sulfúrico.	Vestidos, trajes, pantalones, blusas, abrgos, corbatas, cortinas, mantas....	-Bajo precio -Absorción de la humedad -Estabilidad -Tacto sedoso -Fácil teñido	Baja resistencia en húmedo, arden con facilidad, se cargan de electricidad estática. No se deben de centrifugar para evitar deformaciones.

FIBRAS CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
ACETATO	Fibra química artificial celulósica que procede de la pulpa de la madera o de la pelusa del algodón, la cual se mezcla con ácidos como el acético o sulfúrico.	Vestidos, camisas, pantalones, tapicerías, filtros de cigarrillo ...	Tacto sedoso	Poca resistencia a la abrasión y a la tensión. El color no es permanente y tiene gran facilidad para arrugarse.
TRIACETATO	Derivado de la celulosa por la combinación de celulosa con ácido acético y/o anhídrido acético.	Vestidos, confección de faldas, ropa de deporte ...	No encoge No se arruga Fácil de lavar (no pierde el color)	
TENCEL	Fibra química artificial procedente de la pulpa de la madera tratada con un disolvente no tóxico, un óxido amínico, para disolver la celulosa y obtener una solución muy viscosa.	Textil	Aspecto de las fibras naturales. Estructura más resistente que las naturales. Encoge muy poco. Fija bien los colores. Es totalmente biodegradable.	

FIBRAS NO CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
NYLON	Son las más resistentes y duras de todas las fibras. Son estables al calor, de modo que pueden hilarse por fusión.	-Cables -Medias, alfombras ... -Para fabricar paracaídas. -Redes contra insectos, suturas para cirugía ...	Hidrofóbicos: por lo que se secan con facilidad. Alta resistencia a la tensión. Elástico. Resistente a la abrasión. No requiere planchado.	La luz ultravioleta lo degrada por lo que puede amarillear con el tiempo. No tiene buena percepción al tacto. Produce sensación de frío.
FIBRAS ACRÍLICAS	La más importante es el poliacrilo nitrilo. Su uso es sustitutivo de la lana.	Alfombras, jerseys, faldas, calcetines, ropa infantil, mantas ...	Buena rigidez, tenaz. Resistente a la abrasión, a la humedad, a los productos químicos, a los hongos y al sol.	Inflamables a la llama (aunque para que no sean peligrosos, los fabricantes les añaden retardantes)
POLIÉSTER	La más importante: tereftalato de polietileno.	Ropa con planchado permanente: faldas, camisas, ropa interior ... Cuerdas, redes de pescar, velas de barco.	Resistente. Resistencia al estirado y al encogido. Fácil de teñir, secado rápido, resistente a la mayoría de los productos químicos, al abrasión ...	Producen sensación de frío. Adquieren electricidad estática con lo que atraen partículas de suciedad, aceites y grasas. Su gran densidad encarece su coste.

FIBRAS NO CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>FIBRA DE POLIPROPILENO</b>	Se obtiene por fusión del propileno isotáctico.	Telas. Cuerdas para muelles (ya que flotan)	Baratas ya que su densidad es baja. No son inflamables.	Difíciles de teñir. Mala percepción al tacto, bajo punto de fusión, baja Tg, poco estable a la luz.
<b>FIBRA DE POLIURETANO</b>	Se conocen por el nombre de: Spandex y son elastoméricas. Es un copolímero.	Cinturones, ropa interior, trajes de baño, almohadas ...	Ligera, suave, resistente a la grasa corporal. Elástica. Retiene la forma original. Resiste a la abrasión. No se deteriora con los desodorantes. No son atacados por el O <sub>2</sub> y el O <sub>3</sub> .	
<b>FIBRAS DE POLIIMIDAS</b>	Investigadas por la empresa Dyneema. No funden y no suelen ser solubles en disolventes convencionales por lo que no se pueden hilar por fusión, se utiliza un disolvente orgánico.	Para filtración de gases en caliente, prendas protectoras y como sustitutivo del amianto.	Gran flexibilidad. En contacto con el agua en ebullición. Comportamiento ignífugo.	
<b>FIBRAS DE POLICARBONATO</b>		Para hilos de hilvanar		Es soluble en disolventes de lavado en seco por lo tanto no se puede usar para prendas

FIBRAS NO CELULÓSICAS HECHAS POR EL HOMBRE				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
<b>FIBRA DE POLIBENZIMIDAZOL</b>		Para prendas de protección térmica, telas filtrantes y como alternativa al amianto. De gran utilidad para la aeronáutica, armamento ligero y textiles industriales.	Gran resistencia a las altas temperaturas y a los productos químicos. No arde al aire y tiene una gran estabilidad.	
<b>FIBRAS DE ALTO MÓDULO</b>	Son los más avanzados tecnológicamente. Los más importantes son: Nomex, Kevlar, Twaron, Spectro, Tenfor. Son polímeros muy rígidos y con gran consistencia estructural, por lo que son difíciles de hilar.	Principalmente para la industria. Embarcaciones (casco). Cintas transportadoras. Sustitución del amianto y el acero. Cables ópticos. Tendidos submarinos. Industria aeronáutica.	Resistencia a la abrasión, a los productos químicos. Gran tenacidad. Resistencia a objetos punzantes.	

FIBRAS NATURALES				
FIBRAS DE ORIGEN ANIMAL				
FIBRA	CARACTERÍSTICAS Y NATURALEZA	USO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
SEDA	Hilo fino, brillante y casi continuo que se extrae del capullo del gusano de seda. No se admiten T° muy altas ni centrifugado.	Textil	Fuerte, ligero, de tacto agradable y fija bien los colores.	Delicado al frote y al sudor.
LANA	La lana es el pelo de la oveja. La finura y el rizado de la lana determinan su apariencia, conservación al calor, tacto y elasticidad. Según la raza y edad: - Virgen: se obtiene del animal vivo y procede del esquila. - Lamswool: se obtiene de los corderos. - Merina: de ovejas de pura raza.	Textil	Buen aislante térmico, buena estabilidad dimensional dimensional. Gran poder absorbente y gran capacidad de recuperación.	Encoge si se lava a demasiada temperatura. Tiende a apelmazarse, amarillea y se apolilla si no se trata debidamente.

# APÉNDICE C

## APÉNDICE C1

Tabla del contenido de humedad de la chanta y de la fibra de plátano

Muestra	Muestra 1	Muestra 2	Contenido de humedad (%)
Fibra de plátano	9,86%	11.4%	10.63
Chanta de plátano	92,22%	92.41	92.31

## APÉNDICE C2

Tablas para la determinación de la composición química de la fibra de plátano

Componentes	Muestra 1	Muestra 2	Composición (%)
Ceras, Grasas y Resinas*	11.79 %	12.2%	11.99
Lignina *	12.99%	13.8%	13.4
Celulosa*	73.5%	73.1%	73.3

\* Porcentaje expresado sobre la muestra seca

# APÉNDICE C3

Tabla para la determinación de las propiedades mecánicas de la fibra de Plátano

Numero	Peso (gr)	Titulo (Tex)	Fuerza Carga Ruptura (cN)	Tenacidad (Cn/Tex)
1	0,01	20,00	1089,00	54,45
2	0,00	6,67	136,00	20,40
3	0,01	16,67	157,00	9,42
4	0,01	30,00	184,00	6,13
5	0,01	26,67	1275,00	47,81
6	0,01	16,67	1400,00	84,00
7	0,01	30,00	809,00	26,97
8	0,01	40,00	283,00	7,08
9	0,01	30,00	1220,00	40,67
10	0,01	33,33	1413,00	42,39
11	0,01	26,67	292,00	10,95
12	0,01	26,67	879,00	32,96
13	0,01	36,67	271,00	7,39
14	0,00	13,33	1614,00	121,05
15	0,01	26,67	1372,00	51,45
16	0,01	23,33	923,00	39,56
17	0,02	60,00	1710,00	28,50
18	0,01	26,67	109,00	4,09
19	0,01	33,33	529,00	15,87
21	0,01	26,67	314,00	11,78
23	0,01	26,67	491,00	18,41
24	0,01	20,00	445,00	22,25
25	0,01	16,67	175,00	10,50

Número	Peso (gr)	Título (Tex)	Fuerza Carga Ruptura (cN)	Tenacidad (Cn/Tex)
26	0,01	26,67	201,00	7,54
27	0,00	13,33	489,00	36,68
28	0,01	20,00	972,00	48,60
29	0,00	10,00	261,00	26,10
30	0,01	20,00	536,00	26,80
31	0,01	23,33	97,00	4,16
32	0,01	26,67	222,00	8,33
33	0,01	26,67	98,00	3,68
34	0,012	40,0000	1255,000	31.38
35	0,007	23,3333	461,000	19,76
36	0,005	16,6667	484,000	29,04
37	0,003	10,0000	323,000	32,30
<b>PROM</b>	<b>0,007</b>	<b>23,5135</b>	<b>608</b>	<b>25.85</b>
<b>Desv. Stand.</b>	<b>0,018</b>	<b>59,1313</b>	<b>792,823</b>	<b>13,41</b>

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización de las Naciones Unidas (ONU).  
Disponible en: <http://www.nacionesunidas.org.com/>
- [2] MATA CABRERA, Francisco. Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de automoviles. Revista Técnica Industrial 254. Septiembre 2004.
- [3] KRAUSE, Estela y LUCAS, Juan Carlos. Producción de materiales compuestos basados en propileno y fibras naturales. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Industria Plástica. Argentina, 2000.
- [4] LARICO, Carol.El Abacá. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú, Septiembre 2009.
- [5] Fibras Vegetales  
<http://www.explored.com.ec/noticias-ecuador/25-fibras-vegetales-son-el-potencial-del-ecuador-5688-5688.html>

- [6] Exportaciones de Ecuador  
CORPEI.[http://www.ecuadorexporta.org/archivos/documentos/\\_informativo\\_2\\_2009\\_fibras\\_naturales.pdf](http://www.ecuadorexporta.org/archivos/documentos/_informativo_2_2009_fibras_naturales.pdf)
- [7] Legislación de residuos de flujos específicos. Directivas para la culminación de vida de los vehículos(ELV). 2000
- [8] AGUILAR S., RAMÍREZ J., MALAGÓN O., Extracción de fibras no leñosas: cabuya (*furcraea andina* trel.) y banano (*musa paradisiaca* l.) para estandarizar un proceso tecnológico destinado a la elaboración de pulpa y papel, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2007. (Fengel y Wegener, Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions, 1984
- [9] RODRÍGUEZ GARCÍA I., Caracterización química de fibras de plantas herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad, 2006.
- [10] Fibras Celulósicas No maderederas  
Disponible en:  
<http://es.scribd.com/doc/50247132/3/Fibras-lignocelulosicas-no-madereras>
- [11] HANS, Cellulose: structure, accessibility, and reactivity, 1996
- [12] CASTRO HERAZO C., PALENCIA PENAGOS A., Evaluación de la influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre

el comportamiento de fibras de fique, Universidad Pontificia Bolivariana,  
2006

- [13] RIQUELME SÁNCHEZ M., Química aplicada a la industria textil, Tomo II Blanqueamiento de fibras textiles, Tercera edición, s.l. p. 100,1983.
- [14] SREEKALA, M.S., KUMARAN, M.G. and THOMAS, Sabu Oil Palm fibers: morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties, Journal of Applied Polymer Science, India. Vol. 66, No. 5, p. 821-822, 1997.
- [15] JOHN, M.J., Biofibres and biocomposites;Carbohydrate polymers. 2008, Feb. 8, v. 71, issue 3 p. 343-364.
- [16] MARTÍNEZ D, ÁLVAREZ E. RODRÍGUEZ C., Estudio sobre los materiales compuestos reforzados y las principales fibras naturales que se utilizan como refuerzo, COMEC, 2006.
- [17] CHEESMAN, E. E.,Classification of the Bananas. III. Critical Notes on Species. c. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L., *Kew Bulletin* 2 (3). pp. 145–153.,1948.
- [18] CIDPROBA
- Disponible en :
- [http://zofinmaptz.com/bananos/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=54](http://zofinmaptz.com/bananos/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=54)

- [19] LÓPEZ E., OCHOA J.P. ,Análisis de la cadena productiva de plátano para chifle en los cantones: Palanda, Centilena del Condor, Yantzaza, El Pangui y Nangaritzta; provincia de Zamora Chinchipe y Gualaquiza; provincia de Morona Santiago, 2010.
- [20] ANDRZEJ, K; BLEDZKI; VOLKER, E. y SPERBER ANDRZEJ, K; BLEDZKI; VOLKER, E. y SPERBER, Natural Wood and Fibre Reinforcement in Polymers, 2002