

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

**“CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE RAMIO (*Boehmeria nivea*) Y ESTUDIO DEL EFECTO DEL TIEMPO DE COSECHA SOBRE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**SOFÍA NATHALIE SALAZAR ROSERO**

**sofia\_nath@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. OMAR BONILLA**

**omar.bonilla@epn.edu.ec**

**Quito, Julio 2010**

© Escuela Politécnica Nacional 2010

Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Sofía Nathalie Salazar Rosero, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**Sofía Nathalie Salazar Rosero**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sofia Nathalie Salazar Rosero, bajo mi supervisión.

---

Ing. Omar Bonilla  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, por ser los principales impulsores de los grandes propósitos de mi vida, por ser esos ángeles que me encomiendan a otros ángeles todos los días, por su paciencia y su amor. Muchas Gracias!

Al Ing. Omar Bonilla y la Ing. Hilda Trujillo, quienes me guiaron y asesoraron desde su altísima calidad profesional y personal a realizar esta investigación con prolijidad y una actitud siempre generosa y amigable.

Al Ing. Fernando Vaca, por el privilegio de su amistad, por introducirme con entusiasmo al maravilloso mundo de las fibras, por su guía, apoyo y motivación constantes para lograr esta meta de mi vida.

Al Ing. José Utreras, por compartir tan generosamente sus conocimientos y visión del campo agroindustrial que motivó mi entusiasmo por el estudio y desarrollo de este tema.

Al Sr. Germán Romo, por la constante ayuda, sus detalles y su paciencia que contribuyeron a solventar las cotidianidades de mi trabajo.

A Pati y a Gabi P. por esa maravillosa amistad tan motivadora que me retó a avanzar con fe, por su ejemplo de dedicación y persistencia y su apoyo incondicional.

A mis amigas Johana y Janeth, por estar siempre, por escucharme, por su alegría a flor de piel y su compañía que alivió el estrés. A Galo y Andrés G., mis amigos runas soñadores del sumak kawsay. A Willi, Jairo, Cata, Marco, Vero, con quienes hemos compartido esfuerzos y alegrías durante estos años de estudio. A Pablo, Gabi M., Andrés A., y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron con la culminación de este proyecto.

## DEDICATORIA

*A mis papis, como símbolo de la huella que su forma de ser y de vivir ha plasmado en mi espíritu, forjando mi voluntad y mi constancia.*

*A Oscar, Mateo y Martina por que junto a ustedes es inevitable disfrutar, desde la luz de su inocencia, de las pequeñas alegrías de la vida.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>REVISION BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>EL RAMIO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.2</b>	<b>MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE RAMIO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.3</b>	<b>REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.4</b>	<b>LABORES CULTURALES.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2</b>	<b>PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.1</b>	<b>MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2</b>	<b>DESGOMADO DE LA FIBRA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>PROPIEDADES DE LA FIBRA DE RAMIO.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4</b>	<b>IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA FIBRA DE RAMIO .....</b>	<b>26</b>
<b>2.</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1</b>	<b>CONSIDERACIONES PREVIAS .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1</b>	<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3</b>	<b>ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.1</b>	<b>DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO .....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.2</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYO.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.3</b>	<b>PREPARACIÓN DE LA FIBRA PREVIA A SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA.....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.4</b>	<b>CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO .....</b>	<b>45</b>
<b>2.3.5</b>	<b>PREPARACIÓN DE LA FIBRA PREVIA A SU CARACTERIZACIÓN MECÁNICA .....</b>	<b>53</b>
<b>2.3.6</b>	<b>CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA DE RAMIO.....</b>	<b>54</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>56</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO.....</b>	<b>56</b>

3.1.1	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO PARA DISTINTOS TIEMPOS DE COSECHA SIN EL USO DE FERTILIZANTE .....	56
3.1.2	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO PARA DISTINTOS TIEMPOS DE COSECHA CON LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE .....	69
3.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LA FIBRA DE RAMIO .....	73
3.2.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA FIBRA DE RAMIO .....	74
3.2.2	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA DE RAMIO .....	77
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
4.1	CONCLUSIONES .....	84
4.2	RECOMENDACIONES .....	86
	BIBLIOGRAFÍA .....	87
	ANEXOS.. .....	91



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Composición química de la planta de ramio.....	5
<b>Tabla 1.2</b> Captación anual de nutrientes por una hectárea de cultivo de ramio .....	8
<b>Tabla 1.3.</b> Propiedades físicas de la fibra de ramio .....	16
<b>Tabla 1.4.</b> Propiedades mecánicas de la fibra de ramio .....	17
<b>Tabla 1.5.</b> Composición química de la fibra de ramio .....	18
<b>Tabla 1.6.</b> Características físicas y químicas del ramio y otras fibras vegetales .....	18
<b>Tabla 1.7.</b> Propiedades físicas de las fibras de ramio comparadas con otras fibras naturales .....	19
<b>Tabla 1.8.</b> Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natural .....	22
<b>Tabla 2.1.</b> Reactivos empleados en la caracterización química de la fibra de ramio.....	36
<b>Tabla 2.2.</b> Especificación de la Norma TAPPI utilizada para cada análisis .....	43
<b>Tabla 3.1.</b> Resultados de la determinación del contenido de Humedad inicial y de análisis de la fibra de ramio sin fertilizante .....	57
<b>Tabla 3.2.</b> Resultados de la determinación del contenido de celulosa de la fibra de ramio sin fertilizante .....	58
<b>Tabla 3.3.</b> Resultados de la determinación del contenido de lignina de la fibra de ramio sin fertilizante .....	60
<b>Tabla 3.4.</b> Resultados de la determinación del contenido de ceras, grasas y resinas de la fibra de ramio sin fertilizante.....	62
<b>Tabla 3.6.</b> Resultados de la determinación del contenido de cenizas de la fibra de ramio sin fertilizante .....	65
<b>Tabla 3.8.</b> Resultados de la prueba de solubilidad en agua caliente de la fibra de ramio sin fertilizante .....	67
<b>Tabla 3.9.</b> Resultados de los análisis de caracterización química de la fibra de ramio cosechada a los 45 días con la aplicación de fertilizante .....	69
<b>Tabla 3.10.</b> Títulos de las fibras de ramio con y sin fertilizante.....	76
<b>Tabla 3.11.</b> Resultados de la fuerza a la ruptura de la fibra de ramio con y sin fertilizante .....	77
<b>Tabla 3.12.</b> Resultados de la elongación a la ruptura de la fibra de ramio con y sin fertilizante .....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Hojas de la planta de ramio .....	2
<b>Figura 1.2.</b> (a) Inflorescencias del ramio (b) Tallo de la planta .....	3
<b>Figura 1.3.</b> Estructura del corte transversal del tallo de una fibra blanda .....	4
<b>Figura 1.4.</b> Fibras de ramio separadas de la corteza de su tallo .....	5
<b>Figura 1.5.</b> (a) Deshoje y (b) Selección de los tallos de ramio .....	10
<b>Figura 1.6.</b> Máquina desfibadora de ramio .....	10
<b>Figura 1.7.</b> Mecanismo interior de la máquina desfibadora de ramio .....	11
<b>Figura 1.8.</b> Operaciones del proceso de desfibrado y secado del ramio .....	12
<b>Figura 1.9.</b> Fibra de ramio (a) antes de peinar (b) después de peinar .....	13
<b>Figura 1.10.</b> Fibra de ramio cruda y desgomada .....	15
<b>Figura 1.11.</b> Vista de la sección longitudinal de la fibra de ramio (200x) .....	18
<b>Figura 1.12.</b> Enlace $\beta$ 1-4 glucosídico .....	20
<b>Figura 1.13.</b> Estructura química de la celulosa .....	20
<b>Figura 1.14.</b> Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas de celulosa .....	21
<b>Figura 1.15.</b> Matriz de la estructura de la lignina .....	23
<b>Figura 2.1.</b> Diagrama de Flujo de la caracterización física y mecánica de la fibra de ramio .....	33
<b>Figura 2.2.</b> Diagrama de Flujo de la caracterización química de la fibra de ramio .....	34
<b>Figura 2.3.</b> Molino Thomas Wiley, modelo 4 .....	37
<b>Figura 2.4.</b> Tamices en un agitador .....	38
<b>Figura 2.5.</b> Balanza de precisión KERN .....	38
<b>Figura 2.6.</b> Estufa marca SDL .....	39
<b>Figura 2.7.</b> Equipo Soxhlet de seis puestos .....	40
<b>Figura 2.8.</b> Equipo Rotavapor para la recuperación de Benceno .....	40
<b>Figura 2.9.</b> Equipo de reflujo armado .....	41
<b>Figura 2.10.</b> Equipo armado para destilación .....	42
<b>Figura 2.11.</b> Mufla .....	42
<b>Figura 2.12.</b> Equipo para ensayos universales INSTRON modelo IOII .....	44
<b>Figura 3.1.</b> Diagrama del contenido de humedad inicial y de análisis de la fibra de ramio sin fertilizante .....	57

<b>Figura 3.2.</b> Diagrama de la determinación del contenido de celulosa de la fibra de ramio sin fertilizante .....	59
<b>Figura 3.3.</b> Diagrama de barras de la determinación del contenido de lignina de la fibra de ramio sin fertilizante .....	61
<b>Figura 3.4.</b> Diagrama de barras de la determinación del contenido de ceras, grasas y resinas de la fibra de ramio sin fertilizante .....	62
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama de barras de la determinación del contenido de pentosanos de la fibra de ramio sin fertilizante.....	64
<b>Figura 3.6.</b> Diagrama de barras de la determinación del contenido de cenizas de la fibra de ramio sin fertilizante .....	65
<b>Figura 3.7.</b> Diagrama de barras de la prueba de solubilidad en sosa para la fibra de ramio sin fertilizante .....	67
<b>Figura 3.8.</b> Diagrama de barras de la prueba de solubilidad en agua caliente de la fibra de ramio sin fertilizante .....	68
<b>Figura 3.9.</b> Comparación entre el contenido de celulosa de la fibra de ramio con y sin fertilizante .....	72
<b>Figura 3.10.</b> Comparación entre el contenido de los componentes químicos de la fibra de ramio con y sin fertilizante.....	73
<b>Figura 3.11.</b> Diagrama de caja y bigote del título de las fibras de ramio sin fertilizante .....	74
<b>Figura 3.12.</b> Disposición de los tallos de la fibra de ramio durante la extracción en agua caliente.....	75
<b>Figura 3.13.</b> Diagrama de caja y bigote de los títulos de las fibras cosechadas con fertilizante .....	76
<b>Figura 3.14.</b> Diagrama de caja de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio sin fertilizante.....	78
<b>Figura 3.15.</b> Diagrama de caja de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio con fertilizante.....	79
<b>Figura 3.16.</b> Diagrama de caja y bigote de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio cosechada a los 45 días .....	80
<b>Figura 3.17.</b> Diagrama de caja y bigote de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio cosechada a los 60 días .....	80
<b>Figura 3.18.</b> Diagrama de caja y bigote de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio cosechada a los 75 días .....	81

## RESUMEN

En el presente proyecto de titulación, se realizó una caracterización química, física y mecánica de la fibra de ramio que permitiera conocer la composición y propiedades que ésta presenta. Para ello, se manejaron las variables de tiempo de cosecha a los 45, 60 y 75 días del cultivo y la aplicación o no de fertilizante N30 – P15 – K15 sobre dicho cultivo.

En primer lugar, se determinó el contenido de celulosa, lignina, pentosanos, cenizas y ceras, grasas y resinas de las fibras cosechadas en los diferentes periodos, así como también su grado de solubilidad en sosa cáustica y en agua caliente.

De estas determinaciones se obtuvo que a los 45 días la fibra de ramio se desarrolló completamente en cuanto a su principal constituyente, la celulosa, alcanzando un promedio de 88,13%. No existieron diferencias significativas con respecto a las fechas subsiguientes, ni tampoco se observó una respuesta en este sentido frente a la aplicación de fertilizante. Después de la celulosa, el componente más abundante en las fibras de ramio fueron los pentosanos, que constituyeron el 8% de la fibra en su punto más alto a los 60 días, para luego comenzar a decrecer ligeramente.

En cuanto a la lignina se obtuvieron porcentajes sumamente bajos, siendo el mayor de 0,346% reportado a los 75 días. Las ceras, grasas y resinas también presentaron valores muy pequeños. El mayor de ellos fue de 0,55% a los 45 días de cosecha de la fibra sin el uso de fertilizante, mostrando un leve decrecimiento con el transcurso del tiempo.

En general, se pudo observar que el fertilizante no tuvo influencia sobre la composición química de las fibras de ramio, exceptuando por su acción sobre el contenido de cenizas, en el cual mostró un promedio del 4,93% a los 45 días, que fue 27% mayor al de las fibras correspondientes al mismo día de corte sin fertilizar.

En la segunda parte de esta investigación se realizó la caracterización física

mecánica de la fibra de ramio, dentro de la cual se analizaron propiedades como el título, la elongación, la carga a la ruptura y la tenacidad.

Dentro del análisis de estas propiedades se pudo observar que presentan dispersiones muy grandes, lo que es propio de las fibras naturales pues no tienen uniformidad, y en particular de la fibra de ramio pues cada filamento es extremadamente fino lo que hace que en ocasiones se dificulte su separación.

Respecto a los títulos de las fibras, se pudo observar dentro del grupo de las fibras con fertilizante, que éstos van aumentando con el transcurso del tiempo, lo que se traduce en un engrosamiento de las fibras. No ocurrió lo mismo con las fibras sin fertilizante, sin embargo, éstas presentaron títulos mayores que las fibras que contaron con la aplicación de fertilizantes.

El análisis estadístico de la tenacidad de las fibras reveló que, con un promedio de 23,38 [cN/Tex], las fibras cosechadas a los 75 días tuvieron una mayor resistencia a la tracción con respecto a aquellas cosechadas a los 45 días, sin presentar diferencias representativas frente a la aplicación o no de fertilizante.

La tenacidad de las fibras con fertilizante, correspondientes a los 60 días, que fue de 22,58 [cN/Tex], se mostró 13,2% mayor a la de las fibras de la misma fecha que no contaron con este insumo y en ninguno de los dos casos se presentaron diferencias significativas frente a los grupos de fibras cosechadas a los 75 días. Por esta razón, este estudio propuso como la opción más conveniente a aquellas fibras que contaron con la aplicación de fertilizante y que fueron cosechadas a los 60 días, puesto que estas exhibieron las mayores características de tenacidad, título y porcentaje de elongación a la ruptura, además de un gran contenido de celulosa.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente y enfocados en promover la importancia de los recursos naturales, la Organización de las Naciones Unidas, a través de la FAO ha expresado su interés en dedicar el año 2009 a la promoción e impulso de las fibras naturales, ya que éstas desempeñan un papel esencial en la sociedad. (FAO, 2009)

Ante el nuevo panorama mundial de apertura de los consumidores a la utilización de fibras naturales, resulta oportuno impulsar su cultivo, transformación, uso y comercialización. Es por este motivo, que este estudio propone a la fibra de Ramio (*Boehmeria nivea*) como una nueva alternativa de aprovechamiento para el sector textil. El ramio pertenece a la familia de las Urticáceas y es originario de Asia Oriental. De su tallo se obtienen fibras celulósicas suaves y lustrosas con interesantes propiedades mecánicas, que lo vuelven una excelente materia prima para la confección de telas para vestimenta, tapicería y materiales militares, además de redes de pescar, sogas, cordeles y fabricación de papel de seguridad, conservando en tales productos, características superiores a las del algodón, el cáñamo, el lino y la seda. (Ramírez, 2009; Sing, 2006)

En el Ecuador, el rubro que más aporta al PIB industrial después de los alimentos es el de los productos textiles, que en el 2008 produjo 553 millones de dólares, de un total de 3137 millones de dólares, correspondientes a los productos industriales no petroleros. Estas cifras revelan la importancia de crear fuentes de crecimiento económico en el país a través de la investigación y explotación de nuevas alternativas agroindustriales con énfasis en la disminución del deterioro del planeta e innovación de tecnologías de cultivo. (CIG, 2009)

En conocimiento de que el ramio es un cultivo poco exigente y de rápido

crecimiento, que puede generar hasta 6 cosechas al año, y comparándolo con el algodón, cuyo ciclo productivo es de 150 días, se ve el beneficio de promover el cultivo del ramio para ampliar la oferta textil.( MAG, 2007; Ramírez, 2009)

Con este proyecto, se pretende abrir una nueva vía de desarrollo al introducir en el país la producción de fibra de ramio de calidad, al menor costo posible, para lo cual es necesario conocer el tiempo óptimo al cual deben cosecharse los tallos, así como el efecto que el uso de fertilizante tiene sobre éstos cuando se trata de obtener la fibra adecuada, es decir, la que ofrezca mayores ventajas en cuanto a sus componentes químicos y sus propiedades mecánicas para su aplicación en la industria textil.

# 1. REVISION BIBLIOGRÁFICA

## 1.1 EL RAMIO

### 1.1.1 INTRODUCCIÓN

El Ramio (*Boehmeria nivea*), conocido también bajo los nombres de Ramie, Chinagras, Kurkunda y Rhea, es una planta herbácea, arbustiva y perenne, proveniente de Asia Oriental. (Sing, 2006)

Se presenta como una planta alta, esbelta, que puede alcanzar hasta los 3 m de altura. Su cultivo, que puede durar de 25 a 40 años, permite un máximo aprovechamiento al momento de la cosecha, pues de su tallo se obtienen fibras de gran calidad, mientras que sus hojas, por ser una fuente muy rica en proteínas y calcio, son muy apreciadas como forraje e incluso se piensa que serían una buena alternativa para el consumo humano, obteniéndose como sirope o harina. (Maldonado, 2008)

El ramio ha sido conocido y utilizado por muchos siglos en China y Japón. La fibra que de él se obtiene, es una de las más antiguas que se conocen; es de color blanco puro, y presenta características de gran durabilidad, longitud, resistencia y un lustre similar al de la seda. Pertenece a la clasificación de las fibras blandas, que al igual que el lino, el cáñamo y el yute provienen del líber de los tallos de las plantas. Al observar la fibra de ramio al microscopio, se halla que sus características son muy similares a las del lino. (Ramírez, 2009; Hollen *et al.*, 1992)

Actualmente, esta fibra se utiliza para la confección de vestimentas, telas, tapicería, sábanas, redes de pescar, sogas, cordeles y fabricación de papel, conservando en varios aspectos, características superiores a las del algodón, el cáñamo, el lino y la seda. (Ramírez, 2009)



### 1.1.2 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE RAMIO

El ramio es una planta textil, de textura herbácea, dicotiledónea, de ciclo perenne, perteneciente a la familia de las Urticáceas. Es ramificada, alta y de rápido crecimiento.

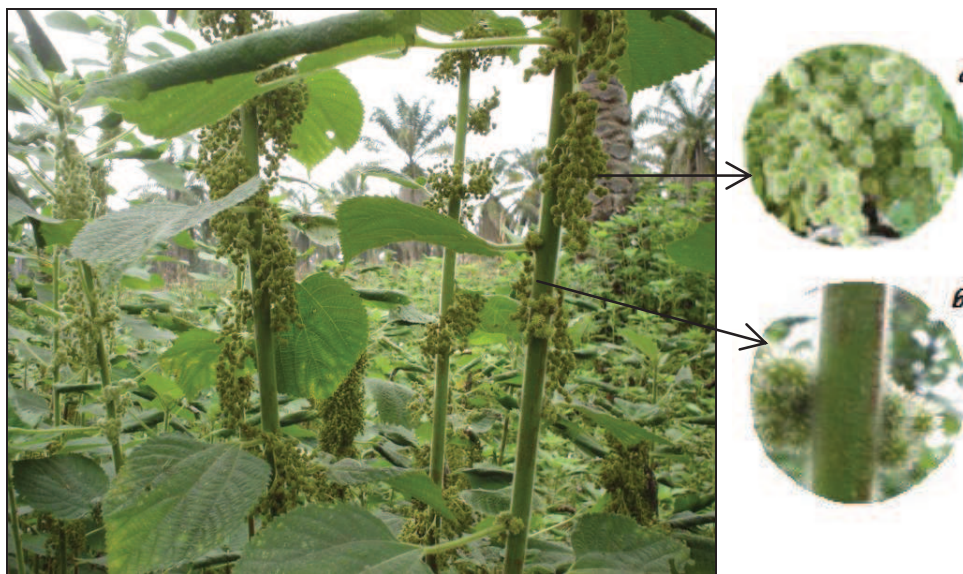
Tiene raíces rizomadas de almacenamiento. Sus hojas son alternas, acorazonadas, aterciopeladas y de bordes dentados como se puede observar en la Figura 1.1. También son muy apreciadas por su contenido rico en proteína de aproximadamente 20 – 24%, y por ello son utilizadas como forraje para animales, dando muy buenos resultados en su nutrición. (Sing, 2006)



**Figura 1.1.** Hojas de la planta de ramio

(Pilar, 2009)

En la Figura 1.2 se pueden apreciar las flores del ramio, que aparecen como pequeñas inflorescencias verdes. También pueden ser rojas o amarillas dependiendo de la especie y se encuentran dispuestas en panojas que se originan en los nudos superiores del tallo. (Ramírez, 2009)



**Figura 1.2.** (a) Inflorescencias del ramio (b) Tallo de la planta  
(Pilar, 2009)

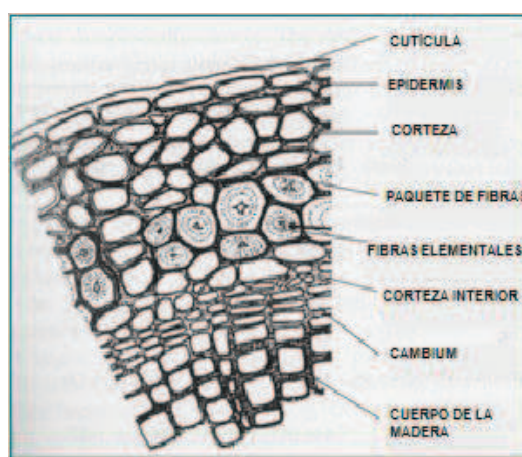
Los frutos del ramio son pequeños y numerosos, de forma ovalada, con muchas semillas de color amarillo, fusiformes, pilosas y que por lo general se encuentran encerradas permanentemente en el cáliz. Un fruto puede llegar a producir 50 g de semillas fértiles con alto poder germinativo, donde cada gramo llega a contener hasta 7000 semillas. (Sing, 2006; Ramírez, 2009)

Los tallos o cañas también mostrados en la Figura 1.2., crecen cilíndricamente hasta alcanzar entre 1,50 y 2,00 m de altura y generan brotes cuando son cosechados durante el periodo de crecimiento, lo cual permite realizar varios cortes al año. (Sing, 2006)

En su madurez, los tallos se encuentran constituidos por la peridermis, una pared externa y gruesa formada por 6 estratos de células secas que protegen exteriormente al tallo. Por debajo de ésta, existe una zona continua de colénquima, seguida por una capa de parénquima de 3 a 5 células de espesor que contiene cristales, granos de almidón y gomas, que se encuentra a su vez rodeando a un cilindro de fibras formadas por células poligonales, de paredes muy gruesas cuya longitud varía de 10 a 25 mm. Según la edad de la planta hay de tres a seis filas de

células en el cilindro de fibras, el cual no es sólido, sino que está interrumpido irregularmente por masas de parénquima y en él se encuentran los otros tejidos del floema. La parte central del tallo está ocupada por el xilema y por una médula muy desarrollada. (Ramírez, 2009)

En la Figura 1.3. se muestra una representación generalizada del tallo de las fibras blandas.



**Figura 1.3.** Estructura del corte transversal del tallo de una fibra blanda

(Mohanty, 2005)

El tejido de parénquima que rodea la zona de fibras contiene gomas que se adhieren fuertemente a las paredes de éstas, lo que dificulta su remoción y por ende la limpieza de las fibras. Para realizar dicha remoción es necesario emplear procesos de extracción química o mecánica. (León, 1987)

Por encontrarse en la parte floemática del tallo de una planta dicotiledónea y por sus características de suavidad, elasticidad y flexibilidad, la fibra del ramio es clasificada como “fibra blanda”, al igual que el lino, el cáñamo y el yute. Entre éstas presenta cualidades sobresalientes de resistencia a la descomposición, tenacidad y lustre. Además, sus fibras se conocen entre las células más largas del reino vegetal, con una longitud de 40 cm, son blancas, livianas, finas, casi transparentes y muy resistentes. (González, 2008; FAO, 2009).

A continuación en la Figura 1.4 se pueden apreciar las fibras de ramio separadas de su corteza.



**Figura 1.4.** Fibras de ramio separadas de la corteza de su tallo  
(Scruggs y Smith, 2008)

Como se indica en la Tabla 1.1, dentro de la composición química de una planta madura de ramio, el contenido fibroso es de casi el 30%, razón por la cual se la considera dentro del grupo de los cultivos textiles. (Ramírez, 2009)

**Tabla 1.1.** Composición química de la planta de ramio

COMPONENTES	%
Materia seca	24,50
Proteína cruda	15,80
Grasa cruda	4,50
Fibra cruda	29,70
Elementos no nitrogenados	29,40
Cenizas	20,60
Calcio	4,70

(Ramírez, 2009)

Es destacable mencionar que existen numerosas especies de la planta de ramio. Sin embargo, a nivel mundial, para fines textiles, industriales y comerciales se utilizan mayormente dos especies, que son: (Wu, 2009)

- ***Boehmeria nivea***: conocida también como ramio blanco o ramio verdadero.

- ***Boehmeria tenacissima***: conocida también como ramio verde, tiene hojas más pequeñas y se adapta mejor a los climas tropicales.

### 1.1.3 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

La planta de ramio es perenne y de rápido crecimiento. Se puede propagar mediante semillas, lo cual no es muy conveniente, puesto que el crecimiento de las plantas desde la siembra hasta el primer corte, tarda un tiempo aproximado de 120 días; mientras que con la propagación mediante rizomas, el ramio tarda aproximadamente 75 días en crecer desde la implantación hasta el primer corte, lo que resulta significativamente más ventajoso. (Fernández, 2009; SENA, 2008)

Este cultivo se acopla mejor a regiones que se encuentran hasta 1600 m sobre el nivel del mar, donde el clima es cálido húmedo con temperaturas entre 25 y 31°C, una humedad relativa de 65 a 80% y una media de precipitación anual que oscila entre los 1500 y 3000 mm. Las plantas de ramio son muy sensibles a las heladas y no pueden acoplarse a países de inviernos muy severos o con vientos muy fuertes, pues éstos pueden romper las cañas y dañar el cultivo. (Ramírez, 2009; Sing, 2006)

Para una buena producción, el suelo debe ser ligeramente ácido con un pH de 5,5 a 6,5, rico en materia orgánica, fértil, arenoso o franco; con una capacidad de drenaje adecuada, que no permita inundaciones. Aquellos suelos deficientes en calcio y con poca capacidad de intercambio básico no son apropiados, a menos que se haga un adecuado encalado y se añada suficiente materia orgánica. (Ramírez, 2009; Fernández, 2009)

### 1.1.4 LABORES CULTURALES

#### 1.1.4.1 Preparación del terreno

Es necesario realizar un arado de aproximadamente 20 a 25 cm de profundidad, pasando dos cruces de rastra para que el suelo quede bien desmenuzado. Después del arado, es recomendable esperar de 20 a 45 días antes de la siembra para

completar el proceso de meteorización, que consiste en la desintegración de los materiales sólidos de la superficie terrestre como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos. (Ramírez, 2009)

#### **1.1.4.2 Siembra**

La siembra debe realizarse, preferentemente a las horas de menor insolación y cuando el suelo se encuentre húmedo. Los rizomas se cortan en trozos de 10 a 15 cm de longitud y se colocan en surcos de 10 a 12 cm de profundidad, cubriéndose con una capa de 10 cm de tierra. La distancia entre cada rizoma debe ser de 0,60 a 1,20 m entre hileras y de 0,30 a 0,60 m entre plantas, dependiendo de la fertilidad del suelo. (Sing, 2006)

Si el calor y la humedad son apropiados, los primeros brotes surgen dentro de 1 a 2 semanas. Se considera un porcentaje de brotación conveniente el 80%, e inadecuado un porcentaje inferior a 50%. Para sembrar una hectárea de ramio, se requieren de 30 000 a 40 000 pedazos de rizomas. (Ramírez, 2009)

#### **1.1.4.3 Desyerbe**

Ésta es una operación muy importante sobre todo cuando las plántulas están en su primera etapa de desarrollo. Se realiza a mano con azadón antes del primer corte y también entre cosechas para así inhibir las hierbas atípicas al cultivo hasta que la planta crezca lo suficiente para eliminarlas. (Ramírez, 2009)

#### **1.1.4.4 Cosecha**

Es importante identificar el momento apropiado para cosechar los tallos. Para esto se deben tomar en cuenta las siguientes características que las plantas presentan al momento de su maduración: (Sing, 2006; Ramírez, 2009)

- La mitad inferior de los tallos toma una coloración marrón claro
- Las hojas bajas se tornan amarillas y empiezan a caer
- La parte central del tallo está hueca y es fácil de comprimir
- Aparecen nuevos brotes sobre la superficie del suelo



Cuando las plantaciones son extensas, la cosecha es realizada mecánicamente. Sin embargo, en cultivos menores normalmente se cosecha de forma manual cortando las cañas casi a la altura del suelo. Para una producción intensiva, es importante planificar la cosecha de tal manera que la cantidad de tallos cortados concuerde con la capacidad de funcionamiento de la máquina desfibradora y su disponibilidad. (Sing, 2006)

Es común realizar 4 cosechas anuales, produciendo un promedio de 22,5 toneladas por corte por hectárea, es decir, 90 toneladas al año en cuatro cortes. Una cosecha anual puede producir de 1,7 a 2,0 toneladas de fibras sin desgomar. La fibra contiene 25% o más de gomas, ceras y otros materiales extraños resultando un rendimiento de 1,4 a 1,7 toneladas de fibras limpias por hectárea. (Ramírez, 2009)

#### 1.1.4.5 Fertilización

Por la cantidad de materia verde que el cultivo de ramio produce durante su crecimiento, se puede inferir que para mantener una plantación saludable y vigorosa es necesario compensar lo consumido por las plantas administrando ciertas dosis de fertilizante. (Ramírez, 2009)

Quienes cultivan ramio afirman que su producción agota notablemente los nutrientes del suelo como se puede observar en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Captación anual de nutrientes por una hectárea de cultivo de ramio

Elementos	Captación (kg/ha)
Nitrogeno (N)	213,76
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	59,37
Potasio (K <sub>2</sub> O)	130,34
Calcio (CaO)	383,97
Magnesio (MgO)	92,35

(Sing, 2006)

Con los datos presentados, se puede comprender la necesidad del cultivo por nutrientes, y que por tanto, es importante considerar la aplicación de fertilizante tomando en cuenta la composición del suelo y el número de cortes que se realicen al año.

Estudios realizados por la Estación de investigación de ramio, (Ramie Research Station) en Sorbhog, sugieren aplicaciones de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en proporciones de N30 – P15 – K15 kg / ha / corte durante los tres primeros años y N60 – P30 – K60 kg / ha / corte durante los años subsiguientes de producción, como proporciones óptimas para el buen crecimiento del cultivo. (Sing, 2006)

Utilizar los desechos de la granja o el compost, como materia prima para el suelo es fundamental, no solo para obtener altos resultados en la cosecha, sino también para mantener la condición física y nutritiva del suelo con los niveles y propiedades adecuadas.

Los productores de ramio aplican en el campo los desperdicios resultantes de la operación de desfibrado, pues éstos ayudan a fijar el Nitrógeno en el suelo y también contribuyen a incrementar el contenido de potasio, lo que deriva en el aprovechamiento y calidad del cultivo de la fibra. (Sing, 2006)

## **1.2 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA**

### **1.2.1 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE LA FIBRA**

#### **1.2.1.1 Extracción mecánica**

Como se puede ver en la Figura 1.5, después de la cosecha de los tallos de ramio, sus hojas son removidas y en muchos casos son destinadas para el consumo de animales. Los tallos son clasificados de acuerdo a su grosor y tamaño para facilitar el desfibrado.





**Figura 1.5.** (a) Deshoje y (b) Selección de los tallos de ramio

(Pilar, 2009)

Aún frescos y verdes, los tallos son trasladados hacia la máquina desfibradora, que se observa en la Figura 1.6, la cual funciona con la potencia de un motor a diesel que trabaja a 700 rpm y transfiere el movimiento a la desfibradora a través de una banda. Un sistema similar se utiliza en el desfibrado de la fibra de abacá. (Pontón, 2009)

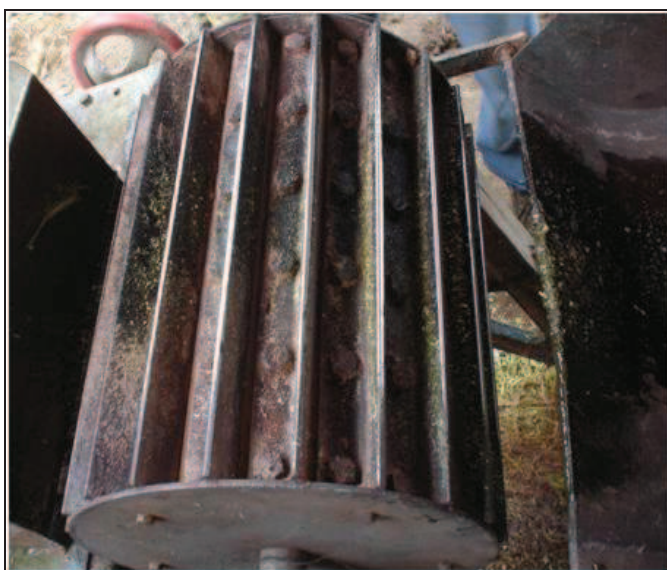


**Figura 1.6.** Máquina desfibradora de ramio

(Pilar, 2009)

La desfibradora de ramio ayuda a remover la corteza exterior, al mismo tiempo que aplasta y extrae la porción central de madera, junto con algunas gomas y ceras. (Sing, 2006).

En la Figura 1.7. se puede observar que interiormente, la máquina consta de un rodillo metálico estriado que gira dentro de una cubierta de protección, manteniendo una distancia equitativa determinada con una cuchilla a través de la cual pasa la fibra.



**Figura 1.7.** Mecanismo interior de la máquina desfibradora de ramio

(Pilar, 2009)

En la figura 1.8 se puede apreciar el proceso completo del desfibrado mecánico y secado de las fibras. El operador sujeta los tallos por un extremo, introduce aproximadamente  $2/3$  de la longitud de los mismos dentro de la máquina, en donde mediante un sistema de raspado se desprende el material no fibroso. El proceso se repite con el otro tercio de los tallos, esta vez sujetando la parte desfibrada. Finalmente la fibra es secada y agrupada en tongos. (Pontón, 2009)



**Figura 1.8.** Operaciones del proceso de desfibrado y secado del ramio

(Pilar, 2009)

El producto obtenido a través del descortezamiento es fibra cruda que aún contiene del 25 al 30% de las gomas presentes en los tallos frescos. Sin embargo, las fibras quedan suficientemente separadas y libres casi en su totalidad de la corteza que las rodea. (Sing, 2006)

Las gomas y residuos de corteza que se encuentran más fuertemente adheridas a las fibras no logran separarse de ellas en el proceso de desfibrado. Por esta



razón, es necesario acudir a prácticas manuales de limpieza y acondicionamiento, que consisten básicamente en sacudir y golpear a las fibras. Posteriormente se procede a la operación de rastrillado o peinado, en la que se reúnen fibras de un mismo tongo y se las pasa entre púas afiladas fijadas verticalmente sobre un banco, donde se mueven horizontalmente los tongos para separar las fibras pegadas entre sí al mismo tiempo que se eliminan los fragmentos de corteza. (Gurtler y Kind, 1930)

En la Figura 1.9 se pueden apreciar claramente las diferencias entre un tongo de fibras antes y después de haber sido peinadas y despojadas de los residuos de corteza. La operación de rastrillado otorga una apariencia mucho más suave, fina y manejable a las fibras.



**Figura 1.9.** Fibra de ramio (a) antes de peinar (b) después de peinar

### 1.2.1.2 Extracción por enriado

Un proceso sumamente utilizado para la extracción de fibras blandas es el enriado, que consiste en la fermentación microbiológica o maceración de los tallos,

lo cual permite la separación de las fibras liberianas de la porción leñosa del tallo. La acción de los microorganismos hidroliza y degrada las pectinas que se encuentran en la lámina media externa, que a modo de funda protectora rodea los haces fibrosos. Ésta operación puede realizarse de varias formas, las cuales se detallan a continuación: (Textil Institute, 1954; Gurtler y Kind, 1930)

- **Enriado natural:**

- **Enriado en agua fría:** Se lo realiza colocando la fibra sumergida en estanques o en agua corriente, generalmente ríos por aproximadamente 10 a 20 días. El enriado en estanques presenta el inconveniente de ser irregular dependiendo de si la fibra fue ubicada en las capas inferiores o superiores del estanque. Además es difícil determinar exactamente el momento en el que se ha completado el proceso de enriado.
- **Enriado al rocío:** Para utilizar este método, se colocan a las fibras dispersas sobre el suelo de un terreno y dependiendo de las condiciones atmosféricas, el enriado dura entre cuatro a ocho semanas. Éste es el proceso más barato, pero al mismo tiempo es el más inseguro, ya que las condiciones climatológicas pueden acabar con toda la operación.

- **Enriado artificial:** consiste en sumergir a la fibra en recipientes llenos de agua caliente, a 30 o 35°C por un período de 3 a 5 días. También existen instalaciones que permiten colocar a las fibras en un canal por donde circula agua caliente, imitando así el procedimiento de enriado por agua corriente, lo cual genera excelentes resultados.

Después de la operación de enriado, las fibras se aclaran en agua limpia y se secan de forma natural.

Es importante acotar que esta práctica depende de un cuantioso suministro de agua y además demanda de mayor tiempo que la extracción mecánica, pues requiere esperar varios días hasta que la corteza se encuentre lo suficientemente suave y se

pueda desprender con facilidad de las fibras. Sin embargo, en muchos casos es la forma más barata y sobretodo menos agresiva de extraer las fibras.

### 1.2.1.3 Extracción química

Existe también la alternativa de una extracción química que se realiza con solventes en base a Sodio, como el Hidróxido de Sodio, el Bisulfito de sodio, el carbonato de sodio, etc. que eliminan casi por completo a la corteza, haciendo mucho más fácil el proceso, sin embargo, esta es una opción más delicada, costosa y contaminante.

## 1.2.2 DESGOMADO DE LA FIBRA

Después de la extracción de la fibra, esta es clasificada en grados de acuerdo a su contenido de gomas, pectina, calidad de desperdicios de la corteza, color y longitud de fibras, para luego proceder con la operación de desgomado. Las gomas del ramio son principalmente de tipo arábica y xilanos (hemicelulosa), las cuales son relativamente insolubles en agua, pero fácilmente solubles en soluciones alcalinas. Por dicha razón, las fibras se desengoman al hervirse en una solución diluida de sosa cáustica, sulfito de sodio o un poli fosfato de sodio. (Sing, 2006).

Las fibras desgomadas se lavan con agua blanda, se agrupan en tongos y se secan al aire libre. En la Figura 1.10, se puede observar claramente la diferencia entre la fibra cruda y la desgomada.



**Figura 1.10.** Fibra de ramio cruda y desgomada

(Swicofil, 2008)

### 1.3 PROPIEDADES DE LA FIBRA DE RAMIO

La fibra de ramio resalta su valor textil gracias a su sedosidad, brillo, durabilidad y capacidad de combinarse fácilmente con otras fibras naturales y sintéticas. Es comparable con el lino en cuanto a absorción y densidad. (FAO, 2009).

Las virutas de ramio pueden llegar a medir hasta 2 m con células individuales de aproximadamente 40 cm. Las unidades principales de la fibra de ramio pueden llegar a medir de 120 hasta 150 mm aproximadamente, lo que representa cerca de 6 veces más que el algodón y 10 veces más que el lino. Además, posee una excepcional blancura y capacidad de no alterar su color, incluso bajo la exposición al sol. (FAO, 2009; Isunte, 2006).

Estudios de sus propiedades físicas, exhiben al ramio como la fibra vegetal más fina, incluso más que la del algodón y reflejan también que es un material con excelente capacidad para absorber y eliminar el agua, sin encogerse y sin la necesidad de ser sometido a procesos estresantes de torsión. (Mohanty, 2005).

Algunas de estas características se pueden ver reflejadas a continuación en la Tabla 1.3 correspondiente a las propiedades físicas del ramio.

**Tabla 1.3.** Propiedades físicas de la fibra de ramio

<b>Propiedades físicas</b>	
Longitud celular de la fibra	120-150 mm
Finura de la fibra	20 – 60 $\mu\text{m}$
Recuperación de humedad	12%

(Sing, 2006)

El peso específico del ramio es de 1,51 a 1,55 y tal como se puede observar en la Tabla 1.4, referente a sus propiedades mecánicas, es una fibra fuerte que presenta una excelente tenacidad y elongación a la ruptura.

**Tabla 1.4.** Propiedades mecánicas de la fibra de ramio

<b>Propiedades mecánicas</b>	
Tenacidad	39,73 cN/tex
Elongación a la ruptura – seco	3 - 7%
Elongación a la ruptura – mojado	1,5 - 5%
Densidad	1,51 – 1,55 g/cm <sup>3</sup>

(Sing, 2006)

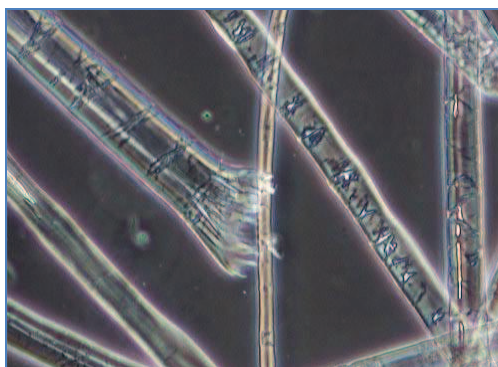
Considerando que los productos textiles serán sometidos a la acción de álcalis como los jabones, la resistencia al lavado también ha sido motivo de estudios, en los cuales se han obtenido extraordinarios resultados de resistencia a la tracción del hilo de ramio que, en comparación con otras fibras, no se ve mayormente afectada, puesto que después de 40 lavados, ésta es del 93% de la resistencia inicial, mientras que la del algodón es del 81% y la del lino del 34%. (Sing, 2006)

Esta fibra resiste satisfactoriamente a la acción de químicos y muestra una incomparable resistencia a los efectos de bacterias y hongos. Sin embargo, se ha observado que una vez desgomada, se torna más vulnerable al ataque de estos microorganismos, sobre todo cuando se encuentra almacenada en condiciones de humedad y temperaturas favorables a los mismos.

Las telas fabricadas con hilo de ramio muestran baja elasticidad y tendencia a arrugarse, pero se tiñen fácil y rápidamente, conservando el color en el tiempo. (Hollen, 1992)

En la Figura 1.11 se puede apreciar a la fibra de ramio al microscopio.





**Figura 1.11.** Vista de la sección longitudinal de la fibra de ramio (200x)  
(Swicofil, 2008)

A continuación en la Tabla 1.5 se observa la composición química de la fibra de ramio.

**Tabla 1.5.** Composición química de la fibra de ramio

Propiedades químicas	
Cenizas	1.5%
Ceras, grasas y resinas	0.32%
Pentosanos	4.03%
Lignina	0.54%
Celulosa	86.5%

(Sing, 2006)

Al compararla con otras fibras se pueden constatar en el ramio, características muy superiores en cuanto a longitud celular, resistencia a la tracción y un alto contenido de celulosa como se puede apreciar en la Tabla 1.6. También es importante resaltar el bajo contenido de lignina del ramio frente al de otras fibras naturales.

**Tabla 1.6.** Características físicas y químicas del ramio y otras fibras vegetales

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	RAMIO	LINO	CÁÑAMO	ALGODÓN	YUTE
Longitud celular	mm	135	13,5	20	45	3,5
Resistencia a la tracción	kg / mm <sup>2</sup>	95	78	83	45	4,5
Recuperación de humedad	%	12	12	12	8	-
Elongación a la ruptura	%	1,2 - 3,8	1,7 - 2,2	1,6	7	1,16 - 1,5
Celulosa	%	87	75	72,5	92	64,4
Lignina	%	0,75	5,1	6,4	-	11,8

(Sing, 2006)

La Tabla 1.7 relaciona las propiedades físicas del ramio con las de otras fibras comunes, donde se otorga al ramio una valoración de 100% en dichas propiedades.

**Tabla 1.7.** Propiedades físicas de las fibras de ramio comparadas con otras fibras naturales

PROPIEDAD	Ramio	Cáñamo	Lino	Seda	Algodón
Capacidad de elongación (%)	100	36	25	13	12
Elasticidad (%)	100	75	66	400	100
Resistencia a la torsión (%)	100	95	80	600	400

(Erhardt *et al.* 1990)

Es importante también acotar que las propiedades físicas de las fibras naturales están básicamente influenciadas por la estructura química de las mismas, tal como el contenido de celulosa, el grado de polimerización, orientación y cristalinidad, los cuales son afectados por condiciones durante el crecimiento de las plantas así como también por los métodos de extracción utilizados. (Mohanty, 2005)

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS FIBRAS VEGETALES

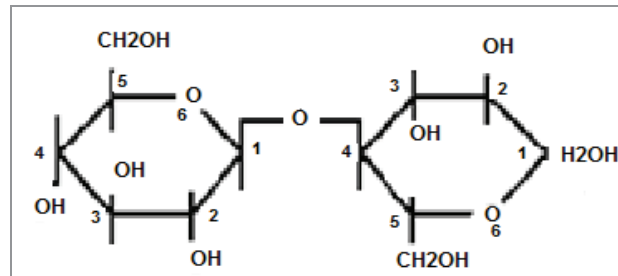
### Celulosa

Es el compuesto orgánico más abundante en la tierra, pues forma parte fundamental de la estructura básica de las células de las plantas, siendo el principal componente de sus paredes celulares. (Ott, E., 1963)

Las fibras están fundamentalmente compuestas por celulosa. Mientras más pronto es cosechada la fibra, menor habrá sido su grado de maduración y por tanto menor será su contenido de celulosa, y mayor la cantidad de agua presente en la fibra. (Bourne, G. y Danielli, J., 1984)

Formada por cientos y hasta miles de monómeros de  $\beta$ -glucosa, la celulosa es un polisacárido insoluble en agua, rígido y de peso molecular variable, cuya fórmula empírica es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , con un valor mínimo de  $n = 200$ . La estructura de la  $\beta$ -glucosa es de un anillo hexagonal con 5 átomos de carbono y uno de oxígeno, y con un grupo  $-CH_2 OH$  unido al carbono 5. El grupo  $-OH$  del carbono 1, determina la

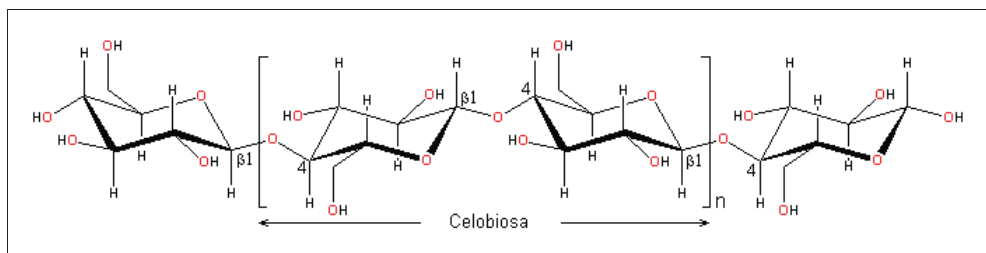
posición  $\beta$ . La unión de moléculas de  $\beta$ -glucosa se da mediante enlaces  $\beta$  1 - 4 glucosídicos, como se muestra en la Figura 1.12. (Hans, 1996)



**Figura 1.12.** Enlace  $\beta$  1-4 glucosídico

(Chaplin, 2008)

La estructura de la celulosa se presenta de la siguiente manera en la Figura 1.13.



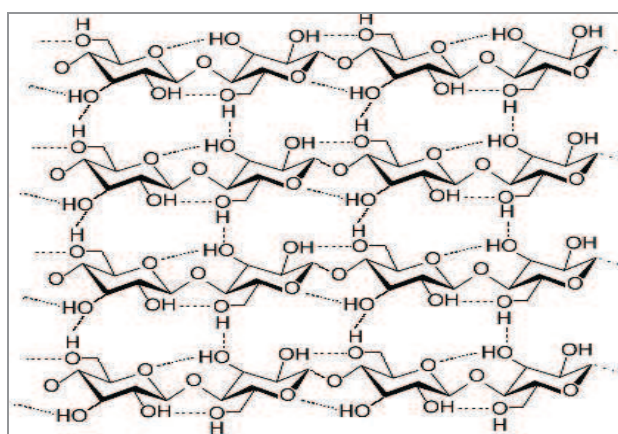
**Figura 1.13.** Estructura química de la celulosa

(Chaplin, 2008)

La celulosa es sintetizada en el exterior celular por la celulosa sintasa, una proteína localizada en la membrana plasmática. Esta enzima recoge las unidades de glucosa desde el citosol y las enlaza en el exterior celular, determinando en el proceso la orientación de las moléculas que se van sintetizando formando a su vez filamentos largos y delgados de celulosa denominados microfibrillas, éstas agrupan aproximadamente a 50 moléculas, tienen un espesor de aproximadamente 10 a 25 nm y proveen a los tejidos vegetales resistencia a tensiones mecánicas, tanto de estiramiento como de presión. (Casey, 1991)

Estas microfibrillas a su vez, se asocian entre sí mediante puentes formados por otros glúcidos, como hemicelulosa y pectinas, que dan como resultado las fibras de celulosa, visibles al microscopio óptico. (Lamoureux, 2007)

Los estudios basados en varios métodos físicos y químicos han indicado que las microfibrillas contienen dos regiones claramente diferenciadas. Una región está formada por moléculas de celulosa altamente ordenadas, que se denomina zona cristalina, la cual se puede apreciar en la Figura 1.14, y otra parte que consiste en moléculas de celulosa notablemente menos ordenadas que se denomina región amorfa. (Hans, 1996; Textile Institute, 1954)



**Figura 1.14.** Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas de celulosa

(Gilman, 2002)

El efecto del grado de orden o cristalinidad sobre las propiedades de una fibra celulósica, tales como tenacidad, elongación y elasticidad, están estrechamente relacionadas con la cantidad y las características de estas estructuras en las fibras. Existen estudios que revelan que para las fibras de algodón con una orientación fibrilar constante, la elongación a la ruptura aumenta con el decrecimiento de los grados de cristalinidad. Por otro lado, a las áreas amorfas se las asocia con las características de hinchamiento y reactividad. (Hans, 1996)

Cuando el contenido de celulosa en una fibra es considerable, éstas presentan propiedades como las que se indican a continuación en la Tabla 1.8.

**Tabla 1.8.** Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natural

<b>FIBRA CON ALTO CONTENIDO DE CELULOSA</b>	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>VENTAJAS</b>
Buena absorbencia	Adecuada para prendas de verano, así como para fabricación de toallas, pañales y pañuelos
Capacidad de soportar altas temperaturas	Pueden ser esterilizadas en autoclave y no necesitan precauciones especiales durante el planchado
Carece de volumen	Pueden elaborarse hilos compactos tipo crepé
Buen conductor de la electricidad	No acumula electricidad estática
Alta densidad	Las telas se sienten más pesadas
Resistente a las polillas	Facilita su almacenamiento

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

(Hollen, *et al.*, 1992)

### **Lignina**

Etimológicamente, viene del latín *lignum* que significa leño o madera, sustancia compleja que acompaña a la celulosa en las membranas internas de los vegetales secos. Es el segundo elemento más importante de la composición vegetal y, después de los polisacáridos, es el polímero orgánico más abundante en la tierra. Se encuentra esencialmente en las plantas vasculares que crean tejidos especializados en el transporte de soluciones acuosas y el apoyo mecánico. (Basaure, 2005)



Las ligninas son insolubles en ácidos y solubles en álcalis fuertes, por lo tanto, para eliminarla junto con los demás elementos no fibrosos, se lleva a cabo un proceso llamado de cocción o lixiviación, utilizando un digestor y un medio alcalino desintegrante como la sosa cáustica, para luego lavar exhaustivamente la muestra vegetal y pasar hacia un tratamiento mecánico que libere totalmente las células individuales. (Guerrón, 2005)

Es importante recalcar que la lignina aumenta ostensiblemente en la pared celular de la planta con el curso de la maduración. (Mohanty, 2005)

### **Pentosanos**

Son carbohidratos no almidonosos que se encuentran en la naturaleza formando parte de algunos vegetales. Nacen a partir de la clasificación de las hemicelulosas estructurales que se dividen en pentosanos y hexanos. Los pentosanos se definen como polímeros de azúcar pentosa (carbón cinco), de bajo peso molecular asociados a las celulosas en el tejido vegetal, donde son componentes estructurales de la pared celular. (Carballo, 1998; Guerrón, 2005)

La mayoría de pentosanos pertenecen a la clase llamada xilanos, pues la columna de la molécula de los pentosanos es un polímero de xilosa, que a su vez tiene adheridas cadenas laterales de arabinosa y una pequeña proporción de manosa y glucosa. (Casey, 1991)

Alrededor del 80% de los pentosanos son insolubles; fijan agua y se hinchan, pero no forman una solución verdadera. El otro 20% tienen mucho parecido con las gomas en cuanto a sus propiedades físicas, ya que se disuelven para formar una solución viscosa y se extraen con álcalis acuosos.

Algunos estudios indican que el nivel de azúcares en las fibras es considerablemente alto durante la fase de elongación y decrece durante la formación de la segunda pared celular. (Carballo, 1998)

Como los pentosanos son carbohidratos, un contenido alto de éstos puede facilitar el desarrollo de hongos en el material que las contenga y su descomposición si no se mantienen condiciones apropiadas de humedad y temperatura en el almacenamiento. (Guerrón, 2005)

### **Ceras grasas y resinas**

Son sustancias altamente insolubles en medios acuosos que se encuentran en los vegetales recubriendo la epidermis de frutos y tallos para evitar la pérdida de agua por evaporación en las plantas, repeler parásitos y proteger contra daños mecánicos a las células de la epidermis. (Claude, 2000)

Químicamente, las ceras son ésteres de los ácidos grasos con alcoholes de peso molecular elevado, es decir, son moléculas que se obtienen por esterificación de un ácido graso con un alcohol monovalente lineal de cadena larga. (Guerrón, 2005)

Las grasas a su vez forman una categoría de lípidos indispensable para muchas formas de vida, cumpliendo funciones tanto estructurales como metabólicas. Químicamente, están formados por triésteres del glicerol y ácidos grasos. Pueden ser sólidas o líquidas a temperatura ambiente dependiendo de su estructura y composición. (Claude, 2000)

Por otro lado, las resinas son sustancias de secreción de las plantas que sufren un proceso de polimerización y secado dando lugar a productos sólidos, duros y quebradizos parecidos exteriormente a las gomas pero insolubles, que no se reblandecen en agua. (Guerrón, 2005)

### **Cenizas**

Son el producto de la combustión de la fibra, y están compuestas por sustancias inorgánicas no combustibles, como minerales que no arden ni se evaporan. Después de calcinada la fibra queda una parte de polvo en la que se encuentra el contenido



de potasio, calcio, magnesio y todos los demás minerales esenciales para el crecimiento de la planta. (Guerrón, 2005)

#### **1.4 IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA FIBRA DE RAMIO**

La producción de fibras naturales tanto animales como vegetales conforma un segmento del sector agrícola de gran importancia, cuyo valor para los agricultores a nivel mundial asciende a unos 40.000 millones de dólares de EEUU al año. Cabe mencionar que el mercado mundial de las fibras en el año 2007, ascendió a 441 mil millones de dólares con un crecimiento anual del 8%. (CORPEI, 2008; FAO, 2009).

Sin embargo, desde el último trimestre del 2008, debido a la fuerte crisis económica por la que el mundo ha atravesado, la industria textil mundial se vio sumamente afectada, pues la rebaja de las ventas de este sector trajo consigo una marcada disminución de la producción, sub-utilización de la capacidad instalada de las fábricas y reducción de las plazas laborales, lo cual es muy grave si se toma en cuenta que para algunos países en vías de desarrollo el producto de las fibras puede representar hasta el 50% de sus exportaciones y que por tanto los ingresos y la seguridad alimentaria de los agricultores y procesadores de estos países dependen de las ganancias por las ventas y exportaciones de estos bienes. (ITMF, 2009; FAO, 2009)

De acuerdo a los indicadores económicos y al informe del Banco Mundial, se prevé una rebaja de la producción textil global de un 2,9 % y del comercio global de casi un 10% en el 2009. Sin embargo, a pesar de ésta declinación, existen algunos factores que apuntan al comienzo de la recuperación, tales como medidas de estímulo fiscal y mejoras en las exportaciones de algunos países así como en la demanda de los consumidores por productos innovadores que impulsarán a los textiles hacia un futuro exitoso. (Rupp, 2009)

Se proyecta que hasta el 2012 el sector crecerá a una tasa promedio del 4,3% para el período 2007 – 2012, año para el cual alcanzaría una cifra de 2 billones de dólares. (CORPEI, 2008)

En el Ecuador, el rubro que más aporta al PIB industrial después de los alimentos es el de los productos textiles, que en el 2008 produjo 553 millones de dólares, de un total de 3137 millones de dólares correspondientes a los productos industriales no petroleros. Esta es la razón por la cual el Ministerio de Industrias ubica al sector textil como uno de los más importantes para el país, contemplando el impulso al incremento de ésta producción en todos los ejes de la política industrial, entre los cuales se busca fomentar sectores, industrias, productos y actividades que generen mayor valor agregado. (CIG, 2009; MIPRO, 2009)

Hasta el momento el cultivo de ramio no ha sido desarrollado en el país. No obstante, su fibra cuenta entre las materias primas con gran potencial para ingresar al mercado ecuatoriano, considerando que es una promisoría fibra "ecológica" para el uso en textiles.

Las telas confeccionadas con ramio en su totalidad son cómodas de usar, livianas y sedosas, similares en apariencia al lino y con características superiores a otras fibras, tal como se indicó en la Tabla 1.6. Sin embargo, dado que tiene baja elasticidad y resiliencia, es mezclado usualmente con otras fibras textiles, como el algodón y la lana entre las más comunes, otorgándoles cualidades de brillo y resistencia en el caso del algodón y reduciendo el encogimiento en las mezclas con la lana. (Sing, 2006; FAO, 2009).

La producción mundial de planta verde de ramio fue de 280 000 toneladas en el 2005, de las cuales casi todas ellas fueron cultivadas en China. El rendimiento de las plantas verdes está entre 8 y 20 toneladas por hectárea, con un rendimiento de fibra de 1,5 toneladas reportadas. (FAO, 2009)

Entre la lista de los países productores de ramio cuenta China en el primer lugar, seguida por Japón, la India, Alemania, Francia, Filipinas, Sumatra, el sur de Estados Unidos, Brasil, Colombia, Taiwán y Corea, y en menor escala: Cuba, Colombia y México. Mientras que los países que demandan fibras de ramio son Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Alemania, Japón, Australia, Centro América, Argentina, Colombia, México e Italia. (Ramírez, 2009; FAO, 2009)

La mayoría de la fibra de ramio extraída es usada en los países productores, y solamente un pequeño porcentaje alcanza los mercados internacionales. Actualmente, existen 35 compañías que compran fibras de ramio las cuales están ubicadas principalmente en Estados Unidos, Europa y Japón. (FAO, 2009)

#### **APLICACIONES DE LA FIBRA DE RAMIO**

El ramio presenta gran versatilidad de aplicaciones gracias a las características y bondades que su fibra posee.

A lo largo de la historia, el valor textil de la fibra de ramio ha formado parte de diversas culturas orientales y también ha sido aprovechado dentro de varios campos como por ejemplo el sector militar, que se ha favorecido grandemente de su empleo, ya que lo han utilizado en uniformes del ejército Alemán, Chino, Filipino, Japonés, sur Coreano y Suizo, así como también en tiendas de campaña, mochilas, sacos de municiones e incluso paracaídas. (Ramírez, 2009; Sing, 2006)

En cuanto a vestimenta, del ramio se han obtenido excelentes prendas especialmente para verano que exhiben como cualidades el ser cómodas de usar, de aspecto brillante, durables y fuertes, que guardan su forma sin encogerse, soportan altas temperaturas durante el lavado y planchado y pueden ser blanqueadas. Por otro lado, sus desventajas se presentan por ser prendas que se arrugan con facilidad, con bajo punto de elasticidad y baja resistencia a la abrasión. (Hollen, 1992)

Otra gran ventaja del ramio es que puede utilizarse en mezclas con otras fibras sintéticas o naturales, a las cuales les otorga cualidades como resistencia y capacidad de secado rápido, y también podría reducir los costos de producción de materiales sintéticos. (FAO, 2009)

Por su poder aséptico, la fibra de ramio es apta para uniformes de médicos y enfermeras, y por su gran resistencia a la acción bacteriana y el aumento de fuerza que revela cuando está mojada, se la ha considerado óptima para la fabricación de toallas, cortinas, cuerdas, cordeles, empaques industriales, redes de pescar, telas para óleo, correas de transmisión, así como también para el recubrimiento y aislamiento de alambres y llantas. Además se la utiliza en manteles, cubiertas de cama, tapicerías, encajes, terciopelos, felpas e incluso en la fabricación de hilo para zapatos, que es más fuerte y resistente que cualquier hilo. (Ramírez, 2009; Sing, 2006)

Con el desecho de sus fibras se obtiene pulpa con la que se fabrica papel correo, papel moneda, cartón gris y filtros de cigarrillos.

Es importante mencionar que el cultivo de ramio brinda la posibilidad de explotar todo su potencial por cuanto sus hojas son muy apreciadas como forraje para animales y las sustancias gomosas que contiene, como ceras y pectinas, pueden utilizarse para fines industriales o medicinales. Además el abono orgánico más biodinámico que se conoce resulta de los tallos de dicha planta. (Ramírez, 2009)

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

A pesar de la gran versatilidad de opciones que la fibra de ramio presenta en cuanto a aplicaciones textiles, este potencial no se ha aprovechado en su totalidad alrededor del mundo. A excepción de algunos países orientales de donde el ramio es originario, son pocos los países que lo conocen y para la gran mayoría de países occidentales su cultivo es considerado nuevo e incluso desconocido. Este es el caso de Ecuador, cuyos intereses relacionados a fibras naturales han girado casi exclusivamente en torno al algodón y la lana.

Los estudios previos que se han realizado sobre esta fibra y sobre los que en gran parte se ha basado la presente investigación, se han hecho en la India, que es un país con un importante desarrollo en producción textil, en donde el *Instituto de investigaciones aplicadas al yute y fibras aliadas*, ha creado en la ciudad de Sorbhog una estación especializada en el estudio de ramio, llamada “Ramie Research Station”, la cual ha realizado la mayoría de investigaciones acerca del ramio, entre las que cuenta un estudio completo de su cultivo, así como también especificaciones, tratamientos y aplicaciones para su fibra, que han servido como referencia para comparar algunos de los resultados obtenidos en esta investigación.

También República Dominicana se ha interesado en este cultivo, realizando investigaciones de la fibra y de sus hojas como forraje. En uno de estos estudios se evaluaron 3 muestras de ramio recolectadas cada 10 días durante 20 días con el propósito de determinar su punto óptimo de corte, con el enfoque en su utilización como forraje, lo cual se logró partiendo de la evaluación de los componentes bioquímicos de cada muestra.

Cabe también indicar, que a pesar de poseer las características suficientes para ser considerado como uno de los mejores materiales disponibles para la industria textil, el ramio presenta una dificultad: la forma en que sus fibras se encuentran adheridas a la corteza del tallo, lo cual obstaculiza su extracción al momento de pasar por la máquina desfibradora, que es el mecanismo más utilizado por los productores de esta fibra. El problema de este tipo de extracción es que resulta abrasiva y ocasiona fragilidad y rompimiento de las fibras más finas.

Ya que en el Ecuador no han existido hasta el momento estudios sobre la fibra de ramio, esta investigación busca sentar las bases para conocer la composición química y propiedades mecánicas que ésta presenta al ser cultivada en el país, con la finalidad de comparar estos resultados con los obtenidos en otras partes del mundo y a la vez determinar el punto óptimo de cosecha de la fibra, para su eventual utilización como materia prima en la industria textil.

## **2.2 OBJETIVOS**

### **2.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar física, química y mecánicamente a la fibra de Ramio y determinar el efecto que el tiempo de cosecha y el uso de fertilizante ejercen sobre sus propiedades mecánicas.

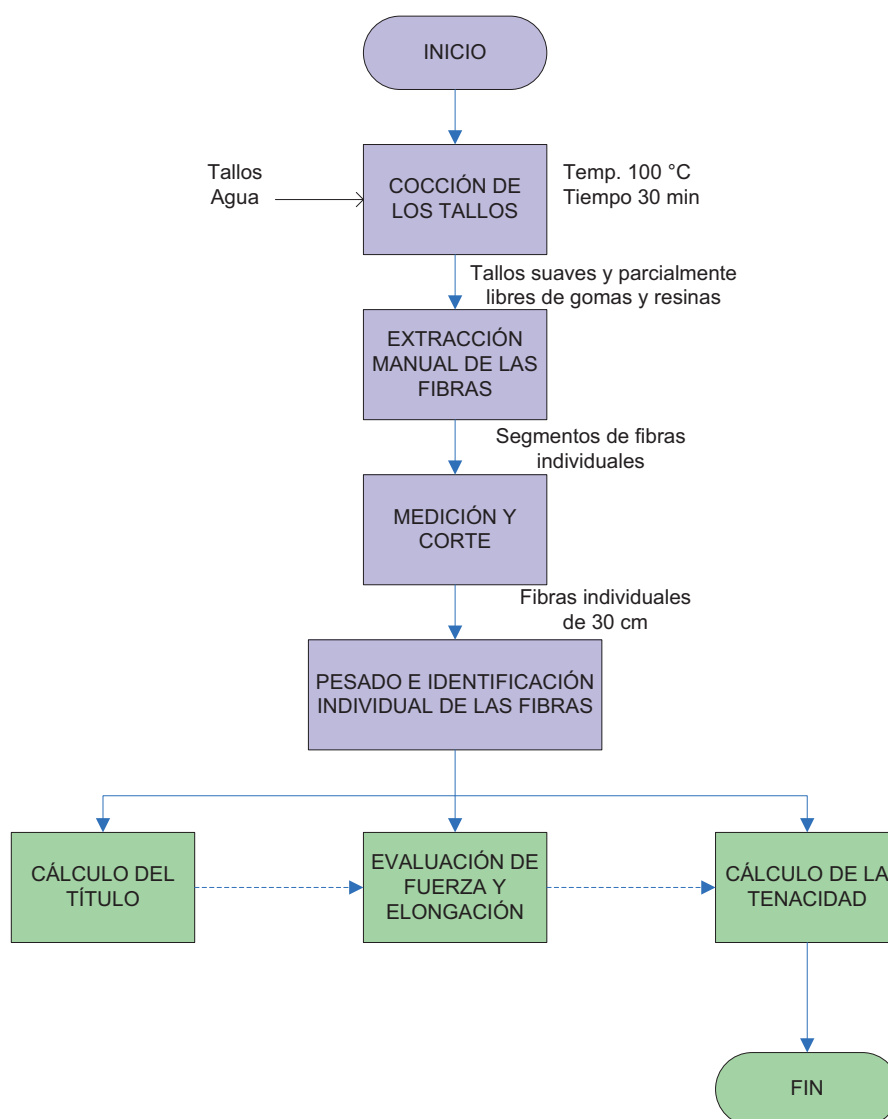
### **2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar químicamente a la fibra de ramio para determinar el contenido de celulosa, lignina, pentosanos, ceras, grasas y resinas.
- Analizar las propiedades de tenacidad, fuerza de carga a la ruptura y capacidad de elongación de las fibras a través de un proceso de caracterización mecánica.

- Realizar un análisis comparativo entre el contenido de celulosa y lignina, así como de las propiedades físicas y mecánicas de las fibras cosechadas en diferentes períodos, con la aplicación de fertilizante y sin él.

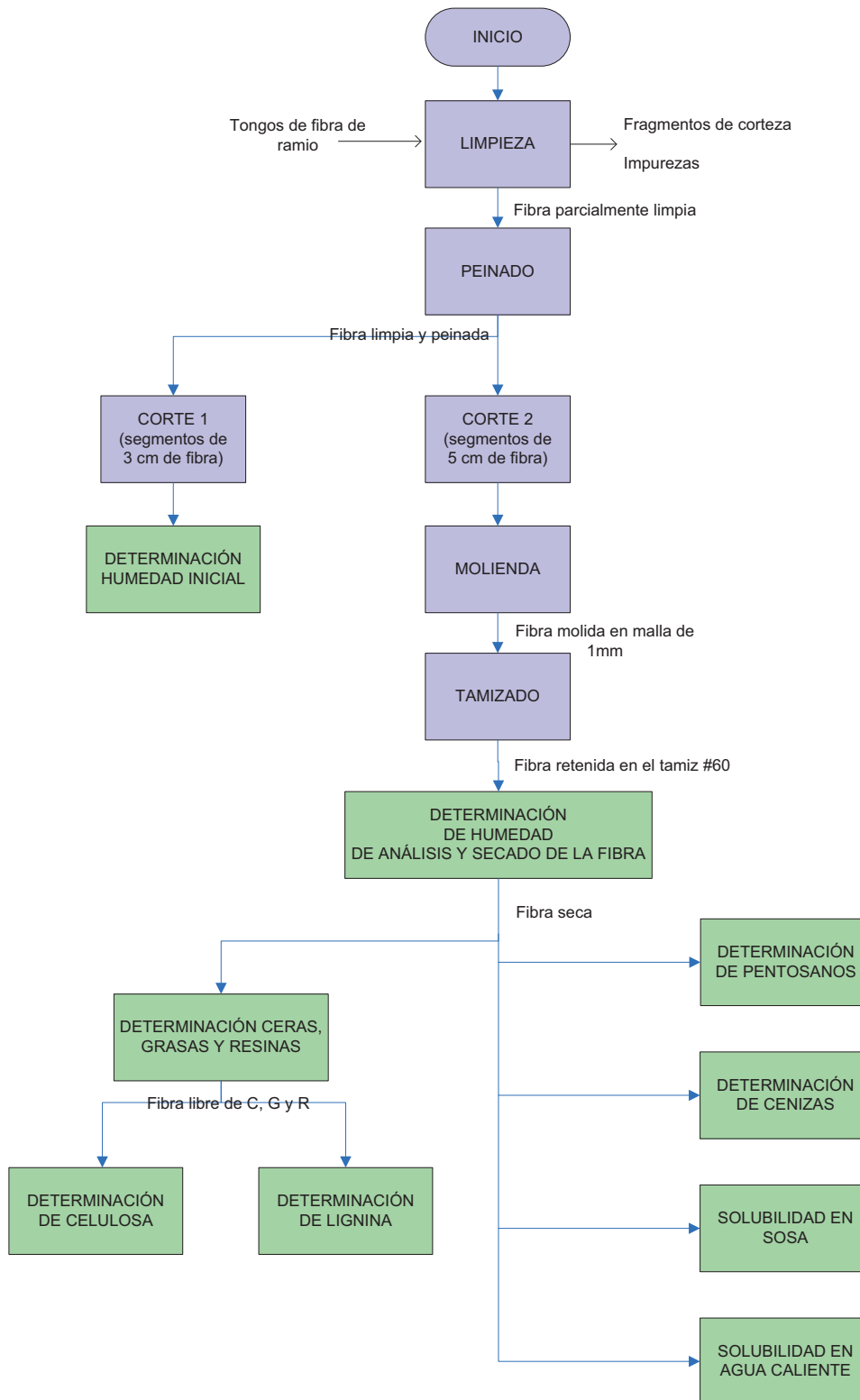
## 2.3 ESTRATEGIA METODOLÓGICA

La estrategia metodológica utilizada en el presente proyecto correspondiente a la caracterización física mecánica se exhibe en el diagrama de flujo de la Figura 2.1, seguida por el diagrama de flujo de la caracterización química en la Figura 2.2.



**Figura 2.1.** Diagrama de Flujo de la caracterización física y mecánica de la fibra de ramio





**Figura 2.2.** Diagrama de Flujo de la caracterización química de la fibra de ramio

### 2.3.1 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

En esta investigación se plantearon dos variables de estudio, tomadas en cuenta porque intervienen directamente en la calidad de la fibra y en la actualidad son manejadas empíricamente por los productores sin la precisión y uniformidad que otorga el sustento científico, éstas son:

- El tiempo de duración del cultivo previo a su cosecha a los 45, 60 y 75 días
- La aplicación o no de fertilizante en el cultivo

De esta manera se sugirió un modelo de diseño experimental que buscó caracterizar química y mecánicamente a las fibras con y sin el uso de fertilizante. Para cada uno de estos casos se propuso evaluar la composición química y propiedades mecánicas de tenacidad, fuerza y elongación a la ruptura a los 45, 60 y 75 días de cosecha.

El estudio de las propiedades químicas se comenzó con las fibras de las plantas que no contenían fertilizante cosechadas a diferentes tiempos. Se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos utilizando el programa Statgraphics plus 5.1 donde se aplicó el método Tukey con un nivel de confianza de 95%, para conocer si existían diferencias significativas y en base a éstos resultados, se prosiguió con las fibras provenientes de las plantas a las que se les aplicó fertilizante.

En cuanto a las propiedades mecánicas, se realizaron las pruebas pertinentes con todas las fibras correspondientes a las tres fechas de corte propuestas, con y sin la aplicación de fertilizante y al concluir dichos ensayos se analizaron estadísticamente los resultados aplicando el método LSD con un 95% de confianza para posteriormente compararlos entre sí.

Es importante mencionar también que tanto la composición química de las fibras como sus propiedades mecánicas fueron comparadas con las indicadas en fuentes bibliográficas, con la finalidad de comprobar si los métodos empleados en este estudio fueron los adecuados para ser aplicados a este tipo de fibra.

## 2.3.2 MATERIALES Y MÉTODOS DE ENSAYO

### 2.3.2.1 Materiales

La fibra de Ramio utilizada en esta investigación fue proporcionada por la hacienda “La Pepa de Oro”, ubicada en Santo Domingo de los Tsáchilas.

El fertilizante empleado en el cultivo de las plantas de ramio tuvo una composición de N30 – P15 – K15, el mismo que procedió de la casa comercial Ecuaquímica.

Cabe recalcar que el cultivo fue provisto de un adecuado suministro de agua y mantenido con la oportuna realización de labores culturales tales como el desyerbe y el control de plagas y enfermedades.

Para la realización de los análisis de la composición química de la fibra de ramio, se utilizaron los reactivos que se detallan a continuación en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Reactivos empleados en la caracterización química de la fibra de ramio

REACTIVOS	ANÁLISIS
Alcohol etílico analítico Merck (P.A.)	Determinación del contenido de ceras, grasas y resinas
Acido Acético al 10%	Evaluación de la solubilidad en sosa
Acido Clorhídrico 3.5N	Determinación del contenido de pentosanos
Acido Sulfúrico al 72%	Determinación del contenido de Lignina
Agua destilada	Todos los análisis
Benceno Merck (P.A.)	Determinación del contenido de ceras, grasas y resinas
Bióxido de azufre al 3%	Determinación del contenido de celulosa
Bromuro Bromato 0,2 N	Determinación del contenido de pentosanos
Almidón (indicador)	Determinación del contenido de pentosanos
Hidróxido de Sodio al 1%	Evaluación de la solubilidad en sosa
Hipoclorito de Sodio al 10%	Determinación del contenido de celulosa
Sulfito de Sodio	Determinación del contenido de celulosa
Tiosulfato de Sodio 0,1N	Determinación del contenido de pentosanos
Yoduro de Potasio al 10%	Determinación del contenido de pentosanos

### 2.3.2.2 Métodos de ensayo

Los análisis químicos y mecánicos fueron realizados con los equipos del Centro Textil Politécnico, los cuales se detallaran a continuación:

El primer paso a seguir fue la molienda de la fibra cortada en segmentos de 5 cm. Se empleó un Molino Thomas - Wiley Modelo 4 que se muestra en la Figura 2.3. Para este propósito se utilizó una malla fina de 1 mm.



**Figura 2.3.** Molino Thomas Wiley, modelo 4

Con el fin de obtener un tamaño adecuado de partícula, se usaron tamices número 40 y 60 incluidos en un agitador eléctrico para facilitar y acelerar el proceso de tamizado. Cabe destacar que se utilizó un tamiz extra para posibilitar la disposición de los tamices en el agitador como se puede observar en la Figura 2.4.



**Figura 2.4.** Tamices en un agitador

Para pesar las muestras requeridas para cada análisis se utilizó la balanza de precisión KERN de cuatro decimales que se muestra en la Figura 2.5.



**Figura 2.5.** Balanza de precisión KERN

Se contó con una estufa marca SDL, de capacidad máxima de 240°C que se muestra en la Figura 2.6, para la determinación del contenido de humedad de la fibra, tarado de material de vidrio y secado de las muestras para los análisis de los demás componentes.



**Figura 2.6.** Estufa marca SDL

Para realizar la extracción de ceras, grasas y resinas de la fibra de ramio se empleó un equipo Soxhlet de seis puestos que mantuvo una temperatura constante de 80°C, el cual se muestra en la Figura 2.7.

Este ensayo fue fundamental en la preparación de la fibra previo a los análisis de celulosa y lignina.



**Figura 2.7.** Equipo Soxhlet de seis puestos

Para la recuperación de la mezcla alcohol-benceno necesaria para la extracción de ceras, grasas y resinas se utilizó un Rotavapor a una temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ , que corresponde al punto de ebullición de dicha mezcla. El equipo se indica a continuación en la Figura 2.8.



**Figura 2.8.** Equipo Rotavapor para la recuperación de Benceno

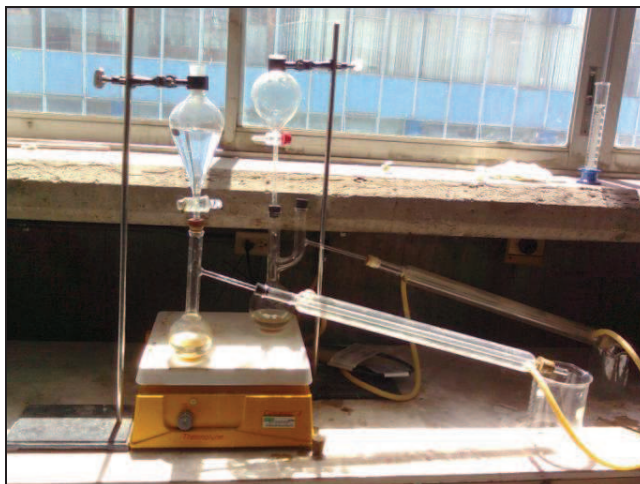
Para la determinación del contenido de lignina y la solubilidad de la fibra en agua caliente se empleó un equipo de reflujo armado con una plancha de calentamiento, balones de 1000 ml y tubos refrigerantes como se puede ver en la Figura 2.9.



**Figura 2.9.** Equipo de reflujo armado

Para efectuar el análisis de pentosanos se dispuso de un equipo destilador que se muestra en la Figura 2.10, articulado con un embudo con llave que, al encontrarse inserto en un balón de destilación, compensó la pérdida por evaporación del ácido clorhídrico que se condensaba en el tubo refrigerante y se depositaba en un matraz de 500 ml.





**Figura 2.10.** Equipo armado para destilación

Para determinar el contenido de cenizas de las muestras de fibra de ramio se utilizó una mufla que se muestra a continuación en la Figura 2.11, la cual calentó las muestras a 600°C hasta obtener de ellas sus cenizas.



**Figura 2.11.** Mufla

Para la caracterización química de la fibra de ramio se emplearon otros materiales como cajas petri, lunas de reloj, varillas de agitación, matraces, balones aforados, erlenmeyers, vasos de precipitación, crisoles de porcelana y crisoles de vidrio de filtración de tamaño de poro de 40 a 60  $\mu\text{m}$ . Todos éstos fueron previamente tarados a una temperatura de 110°C y luego enfriados en un desecador.

Los análisis fueron realizados minuciosamente en base a todos los procedimientos y parámetros dictados por las normas TAPPI, que son estándares mundiales para la medición de componentes químicos de materiales fibrosos celulósicos. Estas normas indican los reactivos y materiales necesarios, así como el procedimiento adecuado que se debe utilizar para aislar un constituyente de la fibra a través de la descomposición química de sus demás componentes.

En la Tabla 2.2 se detallan los análisis que se realizaron y la norma específica que se utilizó para cada uno de éstos.

**Tabla 2.2.** Especificación de la Norma TAPPI utilizada para cada análisis

DETERMINACIÓN	NORMA
Humedad	TAPPI T 412 su-69
Celulosa	TAPPI T 17 m-55
Lignina	TAPPI T 13 os-54
Ceras, grasas y resinas	TAPPI T 6-os-59
Pentosanos	TAPPI T 223 ts-63
Cenizas	TAPPI T 211 os-58
Ataque de hongos	TAPPI T 212 m-54
Solubilidad en agua caliente	TAPPI T 207 m-54

Es importante acotar que cada muestra fue analizada con su respectiva paralela para comparar los resultados y garantizar la reproducibilidad de los mismos.

Una vez concluidos los análisis de caracterización química, se sometió a la fibra a pruebas de resistencia mecánica con base en la norma ASTM D 3822 – 96. Para el efecto se utilizó la máquina universal de ensayos INSTRON modelo IOII que se muestra en la Figura 2.12. Ésta máquina cuenta con un sistema operativo conectado a un ordenador que presenta los datos de carga de fuerza y porcentaje de elongación a la ruptura de la fibra que sirven para determinar la tenacidad del ramio.



**Figura 2.12.** Equipo para ensayos universales INSTRON modelo IOII

### **2.3.3 PREPARACIÓN DE LA FIBRA PREVIA A SU CARACTERIZACIÓN QUÍMICA**

Previo a la caracterización química de la fibra de ramio se realizó un muestreo selectivo de la misma para eliminar cualquier material inadecuado que pueda alterar la uniformidad y precisión de los resultados que se pretende obtener de este proceso. Para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Se eliminaron las impurezas contenidas en la fibra al sacudirla para separar los pequeños fragmentos de corteza que se quedaron adheridos al momento de la extracción.
- Se retiraron las partes más viejas y oscuras así como también aquellas fibras muy frágiles, enredadas y quebradizas.
- Se cortaron aproximadamente 20 cm del extremo inferior de las fibras, puesto que se encontraban excesivamente aglomeradas y no permitían la separación de las mismas en filamentos más finos y homogéneos.

- Se procedió a peinar los tongos de fibra con peines gruesos para facilitar su manejo y eliminar pequeños nudos.

Después de éste proceso de selección y limpieza de la fibra, se procedió a molerla y tamizarla para su adecuada utilización en los procesos de caracterización química como se detalla a continuación:

- Se procedió a cortar las fibras en segmentos de 5 cm, tamaño apropiado para facilitar la operación en la molienda.
- Se introdujeron continuamente los segmentos de fibra por la tolva de alimentación del molino, el mismo que se hallaba provisto de una malla con orificios de 1 mm de diámetro. El objetivo de ésta operación fue transformar los filamentos de fibra en un polvillo fino que fue recopilado y almacenado en fundas plásticas.
- Cuando la fibra estuvo pulverizada fue trasladada a un sistema de tamices de malla número 40 y 60 que, emplazados en un agitador eléctrico, clasificaron el material en diferentes tamaños de partícula, de los cuales se escogió el que quedó retenido en la malla número 60, según lo indican las normas TAPPI.

Después de haber acondicionado a la fibra de la manera descrita, ésta fue sometida a los análisis químicos pertinentes a su caracterización.

#### **2.3.4 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO**

Ésta fue la primera fase de experimentación y consistió en determinar el contenido de los componentes químicos de las fibras y sus variaciones de acuerdo a la edad a la que fueron cosechadas y a la aplicación o no de fertilizante.

##### **2.3.4.1 Determinación del contenido de humedad inicial (TAPPI T 412 su-69)**

Inicialmente se pesaron sobre una luna de reloj tarada, 2 g de fibra fragmentada en segmentos de 3 cm de longitud. Cada muestra con su paralela, fue colocada en la

estufa a 105°C por 3 horas, para después enfriarse en un desecador y ser pesada nuevamente.

Se presentó el resultado obteniendo la diferencia entre el peso inicial y final de la fibra. Lo cual obedece a la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100$$

[2.1]

Donde:

$M_i$  : Masa inicial de la muestra

$M_f$  : Masa final de la muestra

#### **2.3.4.2 Determinación del contenido de humedad de análisis (TAPPI T 412 su-69)**

Para esta valoración, se tomaron 2 g del polvillo de fibra obtenido del tamiz número 60 y se procedió de igual manera que al realizar el análisis del contenido de humedad inicial.

#### **2.3.4.3 Determinación del contenido de ceras, grasas y resinas (TAPPI T 6 os-59)**

Para realizar esta valoración se pesaron 2 g de fibra tamizada de cada muestra y se colocaron en timbles tarados cubiertos con papel filtro y algodón para evitar pérdidas del material.

Por otro lado se preparó el solvente con 33 volúmenes de alcohol etílico al 95% y 67 volúmenes de benceno.

Los timbles fueron introducidos en el equipo soxhlet que mantuvo un reflujo constante del solvente por 8 horas a 80°C, logrando que las ceras, grasas y resinas se acumularan en el extracto. Después de este tiempo los balones fueron llevados al

Rotavapor, que a una temperatura de 70°C, permitió recuperar el benceno de la mezcla y separarlo de las ceras, grasas y resinas contenidas en los balones.

Se llevaron los balones a una estufa por 2,5 horas y se secaron a una temperatura de 105°C. Transcurrido este tiempo, los balones fueron retirados y enfriados en un desecador para posteriormente ser pesados.

Los resultados se obtuvieron a partir de la siguiente ecuación:

$$\% C, G, R = \frac{M_i - M_f}{M_T * (1 - H)} * 100$$

[2.4]

Donde:

*C, G, R*: Ceras grasas y resinas

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

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

*M<sub>T</sub>* : masa inicial del Timble

*H* : Humedad de análisis

Es importante acotar que esta determinación fue realizada previa a la del contenido de celulosa y lignina con el fin de utilizar el material obtenido y así evitar que el contenido de ceras, grasas y resinas altere los resultados de dichos análisis.

#### **2.3.4.4 Determinación del contenido de celulosa (TAPPI T 17 m-55)**

La celulosa es el principal constituyente de la fibra, por tanto su cuantificación es una de las más importantes dentro de la caracterización química.

Para este análisis se pesaron 2 g de muestra tratada con alcohol – benceno que quedó libre de ceras, grasas y resinas, en un erlenmeyer de 125 ml, a los cuales se agregaron 50 ml de hipoclorito de sodio al 10% y se dejó la muestra en reposo a temperatura ambiente durante 8 horas.

A continuación se trasvasó el material a un crisol de filtración previamente tarado en el cual fue lavado sucesivamente con 50 ml de agua, 50 ml de bióxido de azufre al 3%, 50 ml de agua y por último 50 ml de sulfito de sodio al 2%.

Se transfirió el contenido del crisol de filtración a un vaso de precipitación con 115 ml de sulfito de sodio al 2%, para eliminar cualquier residuo sobrante y se lo dejó reposar por un periodo de 30 minutos, al término del cual se volvió a filtrar en el crisol con 250 ml de agua caliente.

Luego las muestras fueron secadas en la estufa a 105°C por 3 horas, enfriadas en el desecador y pesadas.

Finalmente, el contenido de celulosa se determinó con la fórmula expuesta a continuación:

$$\%Celulosa = \frac{M_{ic} - M_{fc}}{M_m * (1 - H)} * 100$$

[2.2]

Donde:

$M_{ic}$  : Masa inicial del crisol

$M_{fc}$  : Masa final del crisol

$M_m$  : Masa inicial de la muestra

$H$  : Humedad de análisis

#### 2.3.4.5 Determinación del contenido de lignina (TAPPI T 13 os-54)

Para la determinación del contenido de lignina se siguió el siguiente procedimiento:

Se pesó 1 g de muestra tratada con alcohol – benceno que quedó libre de ceras, grasas y resinas en un erlenmeyer de 125 ml al que fueron añadidos 15 ml de ácido sulfúrico al 72%.

A una temperatura media de 18°C, se agitó continuamente la mezcla durante 2 horas para después ser trasvasada a un balón de 1000 ml donde se agregaron 560 ml de agua y se hirvió por 4 horas a reflujo. A continuación se dejó enfriar y sedimentar la muestra contenida en el balón y se la filtró en un crisol poroso previamente tarado, lavándose con 500 ml de agua caliente.

- Posteriormente se secó la muestra en la estufa durante 3 horas y se la colocó en el desecador hasta que se enfrió. Luego la muestra fue pesada para finalmente determinarse el contenido de lignina de la siguiente forma:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{M_{ic} - M_{fc}}{M_m * (1 - H)} * 100$$

[2.3]

Donde:

$M_{ic}$  : Masa inicial del crisol

$M_{fc}$  : Masa final del crisol

$M_m$  : Masa inicial de la muestra

$H$  : Humedad de análisis

#### 2.3.4.6 Determinación del contenido de pentosanos (TAPPI T 223 ts-63)

Se pesó y colocó en un balón de destilación, 1 g de muestra retenida en la malla # 60 al que se añadieron 100 ml de ácido clorhídrico 3,5 N. A continuación se armó el equipo de destilación acoplando dicho balón a un embudo de separación, que contenía 300 ml de ácido clorhídrico 3,5 N goteando continuamente durante la destilación, para compensar las pérdidas por condensación. Cuando se obtuvieron 300 ml de destilado se procedió a agregar a este 250 g de hielo picado, 50 ml de agua y 20 ml de Bromuro – Bromato 0,2 N. Se tapó y agitó esta mezcla por 5 minutos. Al cabo de este tiempo se agregaron 10 ml de yoduro de potasio al 10% y 2 ml de almidón indicador, para luego proceder a titular.



Para tener un valor de referencia, fue preciso realizar una prueba en blanco con la mezcla de todos los reactivos en las cantidades anteriormente mencionadas en el procedimiento, con la diferencia de que se utilizaron 270 ml de Ácido clorhídrico y 80 ml de agua. A ésta prueba se la tituló y se midió el gasto de Tiosulfato de potasio 0,1 N.

Finalmente se procedió a titular y medir el gasto de Tiosulfato de potasio de la mezcla que contenía la muestra y se aplicó la siguiente fórmula para obtener los resultados del análisis:

$$\% \text{ Pentosanos} = \left[ \frac{7.5N(v-u)}{w} \right] - 1.0\%$$

[2.5]

Donde:

$N$  = normalidad de la solución de tiosulfato

$w$  = peso de la muestra seca utilizada

$u$  = volumen de la solución de tiosulfato empleado para titular el blanco

$v$  = volumen de la solución de tiosulfato empleado para titular la muestra

#### 2.3.4.7 Determinación del contenido de cenizas (TAPPI T 211 os-58)

Este análisis fue realizado con el fin de conocer el contenido mineral de la fibra, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

Se pesó 1 g de fibra tamizada en un crisol de porcelana previamente tarado. Se precauteló que las muestras tomadas se encontraran limpias para que el contenido mineral de residuos no interfiriera en los resultados.

A continuación se incineró la muestra sobre la llama baja de un mechero de Bunsen hasta carbonizarla; los residuos de esta operación fueron colocados en la mufla a 600°C durante 4 horas, tiempo en el cual todo el contenido orgánico se volatilizó. Por último se procedió a enfriar y pesar la muestra y se aplicó la fórmula 2.6 para determinar el contenido de cenizas.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{M_{ic} - M_{fc}}{M_m * (1 - H)} * 100$$

[2.6]

Donde:

$M_{ic}$  : Masa inicial del crisol

$M_{fc}$  : Masa final del crisol

$M_m$  : Masa inicial de la muestra

$H$  : Humedad de análisis

#### 2.3.4.8 Prueba de solubilidad en sosa (TAPPI T 212 m-54)

Esta evaluación refleja la capacidad que tiene la fibra para resistir a un posible ataque de hongos, pues el material que se disuelve en Hidróxido de Sodio al 1% consiste en una mezcla de pentosanos y carbohidratos, los cuales sirven de medio ideal para el desarrollo de estos microorganismos. Así, a mayor solubilidad, mayor tendencia al ataque de hongos y menor rendimiento de la fibra.

Para la ejecución de éste análisis, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

Se pesaron 2 g de muestra tamizada y se los colocó en un erlenmeyer de 125 ml; luego se agregaron 100 ml de hidróxido de sodio al 1% y se tapó el erlenmeyer, para consecuentemente ser sumergido en un baño de agua en ebullición, llevando la cuenta del tiempo para agitar vigorosamente el contenido del erlenmeyer a los 10, 15 y 25 minutos. Al término de este tiempo, se dejó enfriar en reposo el contenido del erlenmeyer por 1 hora, para luego ser filtrado en un crisol filtrante previamente tarado. En ésta última operación se lavó el residuo con 50 ml de agua caliente, 50 ml de ácido acético al 10% y 50 ml de agua caliente, sucesivamente.

Para concluir con el proceso se secó el crisol y la muestra a 105°C por 3 horas y se lo colocó en el desecador hasta que se enfríe, para luego ser pesado.

La solubilidad a la sosa se calculó con la expresión que se muestra a continuación:

$$\% \text{ Sol. Sosa} = \frac{M_{ic} - M_{fc}}{M_m * (1 - H)} * 100$$

[2.7]

Donde:

$M_{ic}$  : Masa inicial del crisol

$M_{fc}$  : Masa final del crisol

$M_m$  : Masa inicial de la muestra

$H$  : Humedad de análisis

#### 2.3.4.9 Prueba de solubilidad en agua caliente (TAPPI T 207 m-54)

A través de este análisis se puede determinar la cantidad de ciertas gomas, taninos, carbohidratos, azúcares y sales solubles en agua que constituyen a la fibra o que se encuentran superficialmente pegados a ella como resultado de un proceso deficiente de desfibrado.

El procedimiento que se prosiguió para llevar a cabo esta evaluación fue el siguiente:

Se colocaron en un matraz 2 g de fibra de ramio tamizada, a los cuales se agregaron 100 ml de agua destilada. Se acopló el matraz a un sistema de refrigerante a reflujo y se lo sumergió en un baño de agua a ebullición por un período de 3 horas. A continuación se filtró su contenido en un crisol filtrante de poro de 40 a 60  $\mu\text{m}$ , previamente tarado y se lavó el residuo con agua caliente.

Por último se secó la muestra a 105°C por 3 horas y se colocó en el desecador hasta que se enfrió, para continuar a pesar el crisol que contenía la muestra.

La pérdida de peso representa al material que se solubilizó en el agua y se calcula con la expresión:

$$\% \text{ Sol. Sosa} = \frac{M_{ic} - M_{fc}}{M_m * (1 - H)} * 100$$

[2.8]

Donde:

$M_{ic}$  : Masa inicial del crisol

$M_{fc}$  : Masa final del crisol

$M_m$  : Masa inicial de la muestra

$H$  : Humedad de análisis

### **2.3.5 PREPARACIÓN DE LA FIBRA PREVIA A SU CARACTERIZACIÓN MECÁNICA**

Las fibras de ramio son filamentos sumamente finos ligados entre sí mediante gomas, pectinas, hemicelulosas y lignina, que forman hebras más gruesas y resistentes. Cuando los tallos de ramio son sometidos a la acción mecánica del desfibrador, se provoca sobre ellos una acción abrasiva que hace que las fibras más finas se tornen más frágiles y se quiebren con facilidad al intentar separarlas en unidades, es por ésta razón que fue necesario buscar una forma más apropiada de extraer la fibra. Así se siguió el siguiente procedimiento:

- Se escogieron al azar 15 tallos correspondientes a cada variable y se procedió a deshojarlos.
- Posteriormente se cortaron aproximadamente 15 cm de las partes superior e inferior de los tallos para eliminar partes muy frágiles o muy aglomeradas.
- Se procedió a aplanar con las manos a los tallos y se los introdujo en ollas con agua.
- Se dejó hervir a los tallos por 30 minutos y después se dejó enfriar.
- A continuación se eliminó cuidadosamente la corteza con la ayuda de un cuchillo y se extrajeron minuciosamente las fibras individuales.
- Por último se procedió a medir las fibras y cortarlas a 30 cm de longitud.

Una vez que se obtuvieron aproximadamente 50 muestras de las fibras preparadas de la forma descrita, correspondientes a cada variable, se procedieron a realizar los ensayos necesarios para su caracterización mecánica.

### 2.3.6 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA DE RAMIO

Esta es una parte muy importante de la investigación, pues determina básicamente el comportamiento que la fibra va a presentar al ser procesada, ya sea artesanalmente o a partir de maquinarias industriales.

Los análisis para esta caracterización fueron realizados con base en la norma ASTM D 3822 – 96, que indica los procedimientos que se deben seguir para evaluar las propiedades mecánicas de las fibras textiles o hilos, sean estos filamentos continuos o discontinuos.

Las propiedades que se evaluaron en el ramio fueron la tenacidad, la carga y el porcentaje de elongación a la ruptura, para lo cual se siguieron los pasos que se detallan a continuación:

- Se obtuvieron previamente 35 fibras individuales de la fibra de ramio de 30 cm de longitud, y se identificó numéricamente a cada una de ellas
- Seguidamente las fibras fueron pesadas en una balanza de precisión de 4 decimales considerando que es una fibra muy fina que registra su peso con valores sumamente bajos.
- Se determinó entonces el título de cada fibra individual, al dividir su peso para su longitud, como se indica a continuación en la ecuación 2.9.

$$\text{Título} = \frac{M}{L}$$

[2.9]

Donde:

*M*: Masa de las fibras

*L*: Longitud de las fibras

- A continuación se fijaron las condiciones del ensayo en el equipo INSTRON, tales como la distancia de separación entre mordazas que fue de 5 cm y la velocidad de separación de las mismas fijada en 5 mm/min.

- Se colocó a cada fibra entre las mordazas del equipo, que funcionan con un sistema de compresión hidráulico para abrirse y cerrarse. Se alineó a la fibra en sentido vertical y en el centro de las mordazas.
- Se inició a la máquina para que ejerza una fuerza con un desplazamiento constante sobre la fibra hasta que ésta se rompiera. Entonces se registró el valor máximo de la carga que soportó la fibra y su elongación correspondiente.
- Para seguir evaluando las demás fibras se procedió a encerar la máquina y se repitió la prueba con otra fibra similar. Se evaluaron 35 fibras para cada ensayo.
- A partir de los datos de carga y elongación a la ruptura, se obtuvieron los valores de tenacidad y porcentaje de elongación a la ruptura con las ecuaciones [2.10] y [2.11], respectivamente. (Pontón, 2009)

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

[2.10]

Donde:

 $\sigma$  : Tenacidad de la fibra [cN/Tex] $F$  : Carga máxima para la ruptura de la fibra [cN] $T$  : Título de la fibra [Tex]

$$\varepsilon = \frac{l - l_o}{l_o} \times 100$$

[2.11]

Donde:

 $\varepsilon$  : Porcentaje de elongación a la ruptura (%) $l$  : Longitud final de la fibra después del ensayo (mm) $l_o$  : Longitud inicial de la fibra entre mordazas (mm)

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO**

Los análisis químicos que se realizaron para caracterizar a la fibra se basaron en los procedimientos sugeridos por las normas TAPPI, como se indica en la metodología y los resultados que se obtuvieron de la composición de la fibra, permitieron inferir el comportamiento que ésta tendrá dentro del ámbito textil, con base en referencias bibliográficas.

Todos los datos correspondientes a estos análisis se exponen en el Anexo I.

##### **3.1.1 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO PARA DISTINTOS TIEMPOS DE COSECHA SIN EL USO DE FERTILIZANTE**

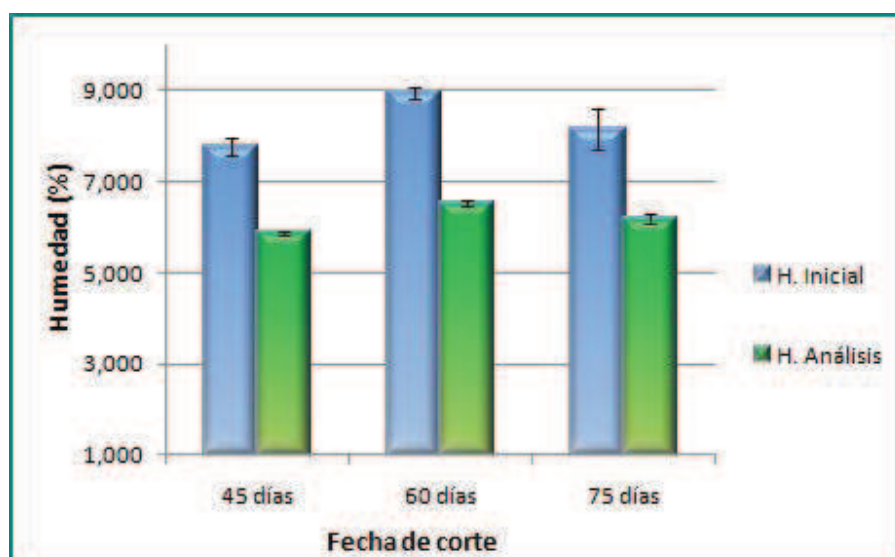
###### **3.1.1.1 Determinación del contenido de humedad inicial y de análisis**

Los promedios de los resultados de estos análisis se exponen en la Tabla 3.1. Al comparar el contenido de humedad inicial entre las fibras cosechadas a diferentes periodos sin fertilizante, se encontró que a los 60 días la fibra presenta un incremento considerable de humedad correspondiente al 15% con respecto a los 45 días y que a los 75 días la humedad decrece en un 8%, tal como se muestra a continuación en la Figura 3.1.

Sin embargo, al realizarse los análisis estadísticos de éstos datos con un nivel de confianza del 95%, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la humedad de las fibras cosechadas a diferentes tiempos.

**Tabla 3.1.** Resultados de la determinación del contenido de Humedad inicial y de análisis de la fibra de ramio sin fertilizante

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD		
Edad de corte	Humedad Inicial (%)	Humedad de análisis (%)
45 días	7,78	5,87
60 días	8,95	6,55
75 días	8,18	6,18



**Figura 3.1.** Diagrama del contenido de humedad inicial y de análisis de la fibra de ramio sin fertilizante

Es importante mencionar que tanto la humedad inicial como la de análisis, dependen en gran medida de la humedad relativa del ambiente al que está expuesto la fibra. Puesto que estos análisis se realizaron en días distintos, resulta lógico encontrar diferencias en los valores de humedad. Incluso en un mismo día las variaciones de humedad ambiental provocan pérdidas o absorción de agua en la fibra ocasionando oscilaciones en esta propiedad.



Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la humedad inicial y de análisis de las tres fechas de corte, observándose un decrecimiento en la humedad de análisis debido a la considerable pérdida de agua que sufre la fibra por el calentamiento al que es sometida al momento de ser molida y tamizada. Esta evaporación correspondió al agua libre que se encontraba en la parte más superficial de la fibra, puesto que el agua ligada se encuentra unida de manera compleja a otros constituyentes.

Con respecto a la humedad inicial, la humedad de análisis de la fibra cosechada a los 45 días perdió un 24% de humedad en estos procesos, a los 60 días el decrecimiento fue de 27% y a los 75 días fue de 24%.

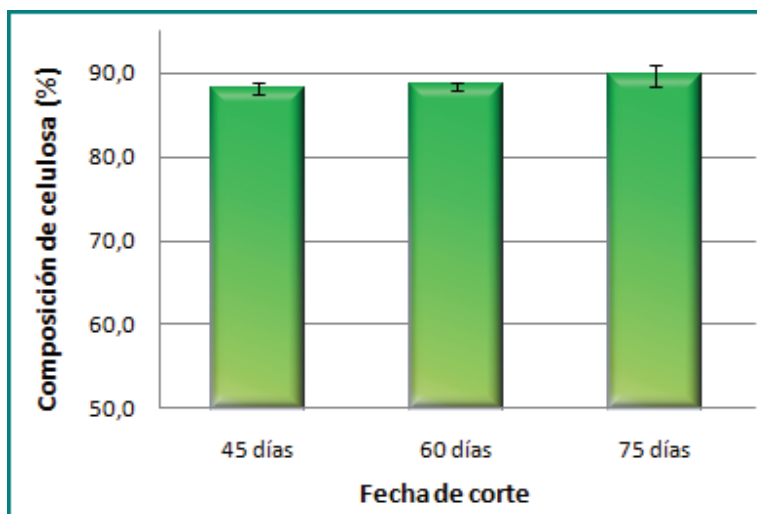
### 3.1.1.2 Determinación del contenido de celulosa

Esta evaluación permitió identificar la fecha más apropiada para cosechar fibra de ramio con mayor contenido de celulosa, pues un alto contenido de éste componente otorga una primera noción de calidad del material, lo que indica que es posible incluir a esta fibra dentro de una amplia gama de aplicaciones industriales, tal como se indicó en la Tabla 1.8, en la revisión bibliográfica.

Los resultados que se obtuvieron de este análisis se detallan a continuación en la Tabla 3.2 y se encuentran representados en la Figura 3.3.

**Tabla 3.2.** Resultados de la determinación del contenido de celulosa de la fibra de ramio sin fertilizante

Edad de corte	Contenido de celulosa (%)
45 días	88,12
60 días	88,44
75 días	89,63



**Figura 3.2.** Diagrama de la determinación del contenido de celulosa de la fibra de ramio sin fertilizante

Como se observó en la Figura 3.2, y al realizar los correspondientes análisis estadísticos utilizando el método Tukey con un nivel de confianza del 95%, no existió una diferencia significativa del contenido de celulosa en la fibra de ramio para los diferentes días de corte ensayados cuando no se utilizó fertilizante, de tal manera que fue posible calcular un promedio del contenido de celulosa y se obtuvo un valor de 88,58%. Dicho valor guarda una cercana relación con aquel expuesto en fuentes bibliográficas como se puede comparar con la Tabla 1.5, referente a las propiedades químicas del ramio, donde se muestra que la celulosa representa un 86,50% de la fibra. Por consiguiente, se verificó que el ramio es una gran fuente de celulosa, lo que lo destaca como excelente materia prima para la fabricación de papel, así como para su utilización en la industria textil.

En este punto es necesario acotar que se hubiese esperado que a medida que transcurre el tiempo de cosecha se incrementa el contenido de celulosa, lo cual no fue posible observar en esta investigación, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos la fibra de ramio ha alcanzado su madurez fisiológica en cuanto a celulosa a los 45 días, periodo después del cual la planta no sigue produciendo mayor

cantidad de este componente. Por tanto, si sólo se tomaría en cuenta la importancia del contenido de celulosa en la fibra, esta fecha sería la más apropiada para su cosecha.

Probablemente al estudiar el contenido de celulosa cosechando la fibra a tiempos menores a los 45 días se podrían apreciar diferencias significativas en este aspecto.

### 3.1.1.3 Determinación del contenido de lignina

La determinación del contenido de lignina es muy importante, pues es un componente de las fibras que interfiere considerablemente en su procesamiento industrial, en una manera negativa o positiva dependiendo de su aplicación.

Los resultados obtenidos de éste análisis se presentan a continuación en la Tabla 3.3.

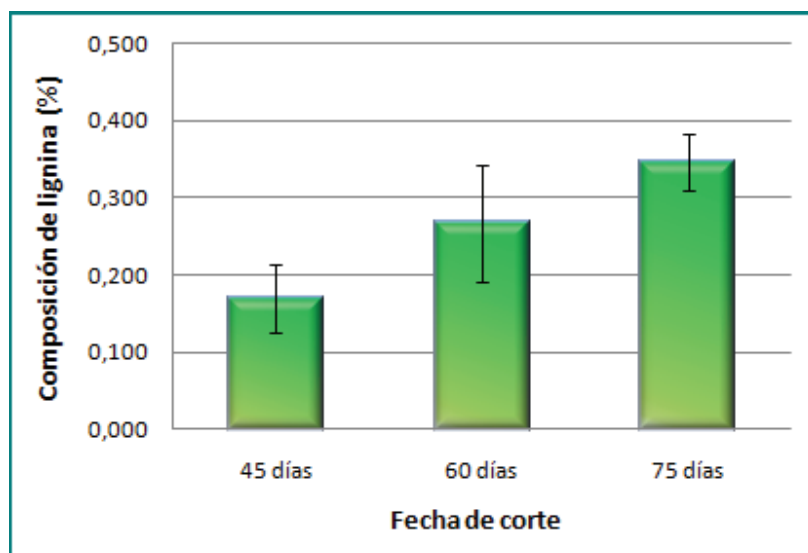
**Tabla 3.3.** Resultados de la determinación del contenido de lignina de la fibra de ramio sin fertilizante

Edad de corte	Contenido de lignina (%)
45 días	0,17
60 días	0,26
75 días	0,34

Como se puede observar, el contenido de lignina es mínimo en la fibra de ramio, y su valor para los diferentes días de cosecha es cercano al reportado en bibliografía, que corresponde a 0,54%, como aparece en la Tabla 1.5.

A medida que avanza el desarrollo vegetativo y se acerca a la madurez, el proceso de lignificación de las paredes celulares en las plantas aumenta y con ello incrementa su rigidez (Mohanty, 2005). Es por esta razón, que el contenido de lignina en la fibra aumentó con el transcurso del tiempo. Así, la mayor cantidad de este

material fue la reportada a los 75 días de cosecha, con un valor de 0,346%, como se puede apreciar en la Figura 3.5.



**Figura 3.3.** Diagrama de barras de la determinación del contenido de lignina de la fibra de ramio sin fertilizante

También es importante destacar que, al ser la lignina el elemento cementante de las fibras, les confiere aspereza y rigidez. Sin embargo, al presentar cantidades tan mínimas de este componente, la fibra de ramio es capaz de mantener su flexibilidad y suavidad al tacto lo que facilita su manejo y manipulación. (Guerrón, 2005)

#### **3.1.1.4 Determinación del contenido de ceras, grasas y resinas**

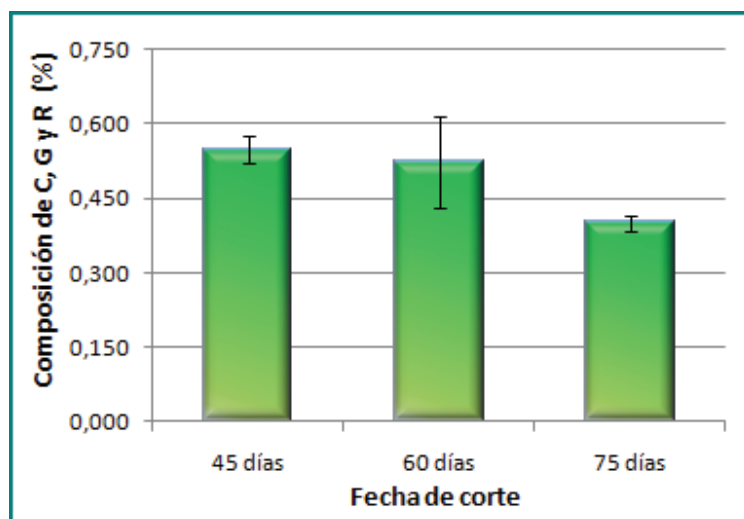
El contenido de ceras, grasas, y resinas en el ramio es bajo, como se observa en la Tabla 3.5. No obstante, su presencia en la fibra mejora su apariencia y le otorga características de sedosidad, lo cual aumenta su valor textil, pues facilita el manejo de la misma, por ejemplo al realizar las torsiones iniciales de la fibra si se requiere trabajar artesanalmente, el proceso de hilado sería complicado sin la presencia de estos componentes. (Guerrón, 2005)

Según los datos de este análisis, que se presentan en la Tabla 3.4, el porcentaje de ceras, grasas y resinas se mantiene cercano al valor presentado en fuentes bibliográficas que es de 0,32%.

**Tabla 3.4.** Resultados de la determinación del contenido de ceras, grasas y resinas de la fibra de ramio sin fertilizante

Edad de corte	Ceras, grasas y resinas (%)
45 días	0,54
60 días	0,52
75 días	0,39

Los resultados obtenidos muestran que la fibra con mayor contenido de ceras, grasas y resinas es la correspondiente a los 45 días, con una disminución del 27% frente a la última cosecha realizada a los 75 días, tal como se puede apreciar en la Figura 3.4.



**Figura 3.4.** Diagrama de barras de la determinación del contenido de ceras, grasas y resinas de la fibra de ramio sin fertilizante

Estos datos podrían expresarse de esta manera debido al aumento de otros componentes durante el desarrollo de la planta, como sería la lignina, o los

pentosanos, lo que se traduciría en una disminución del contenido de ceras, grasas y resinas en términos de porcentaje.

### 3.1.1.5 Determinación del contenido de pentosanos

Esta evaluación permite conocer la cantidad de pentosanos presentes en la fibra, los cuales, por considerarse carbohidratos son asociados con la fuente de consumo principal para microorganismos que pueden deteriorar a las fibras causando su descomposición.

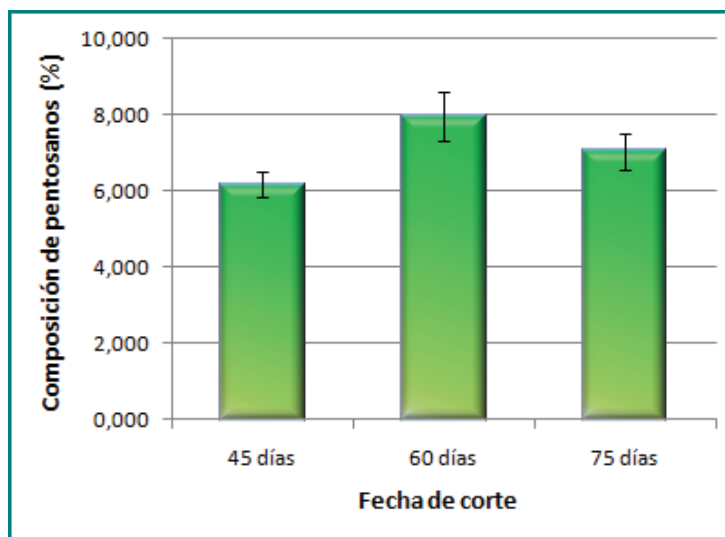
Como se puede observar en la Tabla 3.5, la cantidad de pentosanos en la fibra de ramio es relativamente mayor la presentada en bibliografía, que es del 4,03%.

**Tabla 3.5.** Resultados de la determinación del contenido de pentosanos de la fibra de ramio sin fertilizante

Edad de corte	Contenido de Pentosanos (%)
45 días	6,16
60 días	7,96
75 días	7,02

A pesar de que éstos valores no se muestran importantes dentro de la composición de la fibra de ramio, son los más altos después de la celulosa, lo que sugiere la importancia de mantener condiciones adecuadas de humedad y temperatura para el manejo de la fibra, sobre todo en su almacenamiento para de esta manera evitar daño por presencia de microorganismos.

Los resultados expuestos muestran un incremento de pentosanos en el primer periodo hasta los sesenta días y después de nuevo decaen levemente, como se indica en el gráfico de barras de la Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Diagrama de barras de la determinación del contenido de pentosanos de la fibra de ramio sin fertilizante

La Figura 3.5 sugiere que hasta el día 60 de cosecha, las células de la fibra de ramio se encuentran en la fase de elongación y que a partir de entonces la planta probablemente utilice esos azúcares para la formación de la segunda capa de la pared celular de la fibra, con lo cual se explicaría la disminución del contenido de pentosanos para el día 75. (Carballo, 1998)

#### 3.1.1.6 Determinación del contenido de cenizas

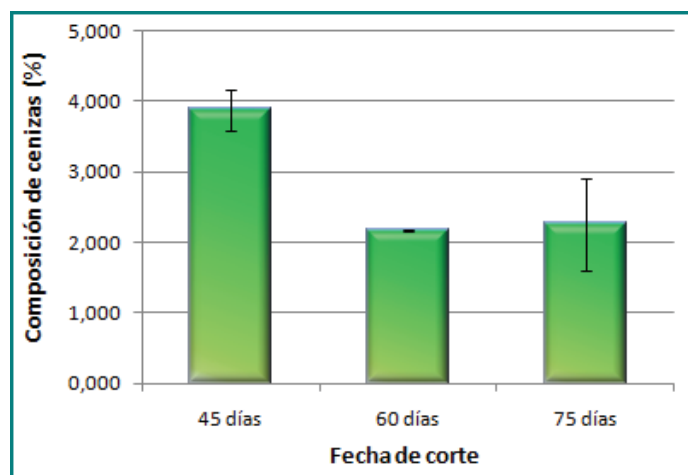
Esta evaluación determina el contenido mineral que tiene la fibra, el cual es muy importante en el crecimiento vegetal, pues son elementos nutritivos que fortalecen y desarrollan a la planta.

La Tabla 3.6 referida a los resultados obtenidos de este análisis, indica el porcentaje de cenizas que presentaron las plantas cosechadas a diferentes tiempos, cuyo valor es ligeramente mayor al obtenido en fuentes bibliográficas como se puede observar en la Tabla 1.5, en donde el porcentaje de cenizas es de 1,5%.

**Tabla 3.6.** Resultados de la determinación del contenido de cenizas de la fibra de ramio sin fertilizante

Edad de corte	Contenido de Cenizas (%)
45 días	3,87
60 días	2,17
75 días	2,26

A continuación, en la Figura 3.6 se presenta un diagrama de barras del contenido de cenizas de la fibra de ramio sin fertilizante para los diferentes días de cosecha.



**Figura 3.6.** Diagrama de barras de la determinación del contenido de cenizas de la fibra de ramio sin fertilizante

Al comparar los resultados, se encuentra que el contenido de cenizas en la fibra es mayor a los 45 días. Es importante señalar que el contenido de cenizas en muchos casos varía en función de la concentración en la que los minerales se encuentren disponibles en el suelo de la plantación. Si la tierra conserva un rico contenido de minerales, el cultivo los absorberá más fácilmente, lo cual se verá reflejado en el contenido de cenizas. Al ser el ramio un cultivo propenso a agotar el suelo, se justifica que a los 75 días de cosecha, el suelo se encuentre empobrecido de minerales, por ende la planta tendrá una menor absorción de los mismos y



consecuentemente esto se tradujo en la disminución del contenido de cenizas al final de este periodo.

El haber verificado el contenido de cenizas en la fibra de ramio y constatado que es superior al de las referencias bibliográficas, sugiere que el ramio cultivado en Ecuador tiene una cantidad de minerales que podrían contribuir de una mejor manera a regular la carga electrostática de la fibra, lo cual es muy importante especialmente en el caso de teñido con colorantes naturales o artificiales. (Guerrón, 2005)

### 3.1.1.7 Prueba de solubilidad en sosa

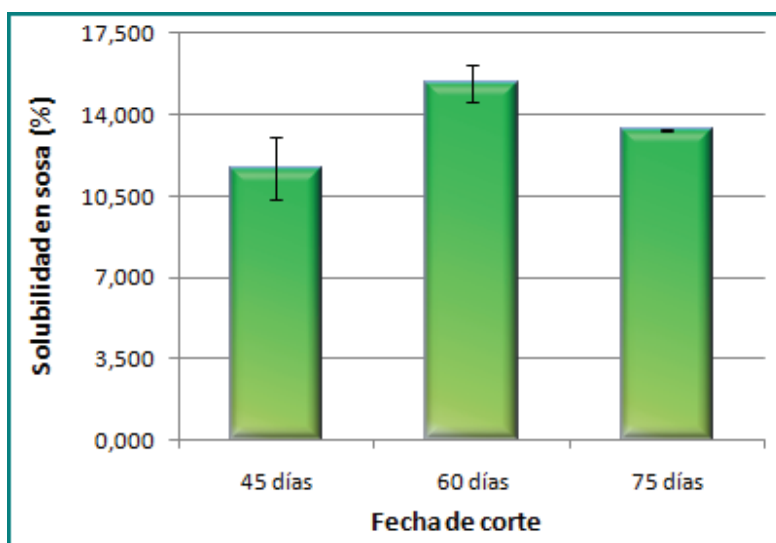
Esta es una evaluación muy importante pues determina la resistencia de la fibra al ataque de hongos y bacterias que pueden malograr la fibra cuando ésta es mantenida bajo condiciones inadecuadas de humedad y temperatura.

Como se puede notar en la Tabla 3.7, la fibra que mayor porcentaje presenta fue aquella cosechada a los 60 días, lo cual guarda una relación lógica con los resultados de la determinación de pentosanos, pues éstos proporcionan el medio nutritivo más apropiado para el desarrollo de microorganismos.

**Tabla 3.7.** Resultados de la prueba de resistencia al ataque de hongos de la fibra de ramio sin fertilizante

Edad de corte	Solubilidad en Sosa (%)
45 días	11,68
60 días	15,35
75 días	13,34

En la Figura 3.7 se presenta un diagrama de barras de la prueba de solubilidad en sosa de la fibra de ramio sin fertilizante para los diferentes días de cosecha.



**Figura 3.7.** Diagrama de barras de la prueba de solubilidad en sosa para la fibra de ramio sin fertilizante

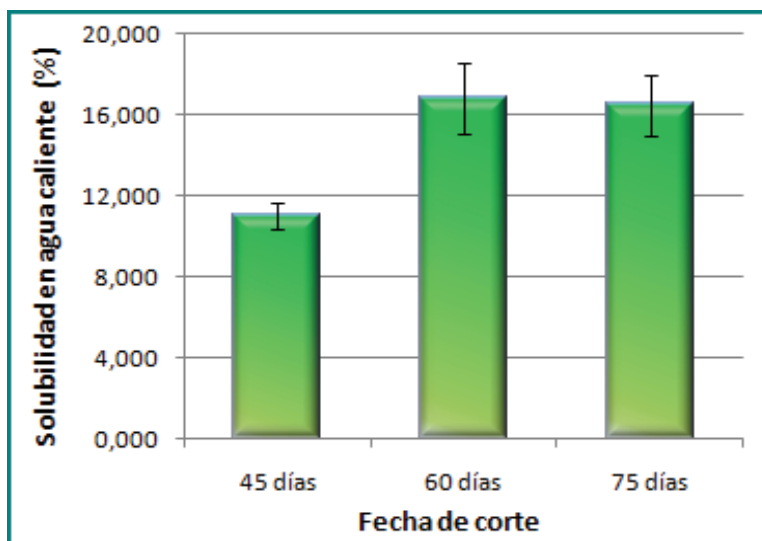
### 3.1.1.8 Prueba de solubilidad en agua caliente

En esta prueba se determina la cantidad de materiales solubles en agua que contiene la fibra, tales como ciertas gomas, mucílagos, azúcares y sales solubles en agua, las cuales se encuentran generalmente en la parte superficial de las fibras por lo que se desprenden con mayor facilidad al contacto con el agua.

En el Tabla 3.8 se exhiben los resultados obtenidos de esta prueba y se encuentran seguidamente representados en la Figura 3.8.

**Tabla 3.8.** Resultados de la prueba de solubilidad en agua caliente de la fibra de ramio sin fertilizante

Edad de corte	Solubilidad en agua caliente (%)
45 días	10,99
60 días	16,80
75 días	16,51



**Figura 3.8.** Diagrama de barras de la prueba de solubilidad en agua caliente de la fibra de ramio sin fertilizante

La fibra que presentó mayor porcentaje dentro de este análisis fue la correspondiente a los 60 días con 16,80% de solubilidad, lo que puede verse ligado al alto contenido de pentosanos que se determinaron para esa fecha, puesto que cuando estas hemicelulosas no se encuentran formando parte estructural de la pared celular, son capaces de disolverse en agua. En algunos casos se encuentran en formas muy simples como las aldosas que se solubilizan muy fácilmente y en otros casos pueden encontrarse ligados a gomas y mucílagos que son solubles en agua.

Por otro lado, existen componentes, tales como los hexosanos, que no fueron analizados en esta investigación, ya que no eran necesarios para la caracterización de la fibra, no obstante, es probable que hayan influenciado en los resultados de esta prueba.

### 3.1.2 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE RAMIO PARA DISTINTOS TIEMPOS DE COSECHA CON LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTE

Como se mencionó anteriormente, los estudios de caracterización química se iniciaron con las fibras de ramio que no contenían fertilizante. Al comparar y analizar estos resultados en la sección anterior, no se obtuvieron diferencias significativas en la composición química de las fibras cosechadas en los tres periodos en lo que respecta a la celulosa que constituye el componente de mayor interés en el estudio de caracterización del ramio, por tanto, se infirió que ocurriría lo mismo con las fibras que contaron con la aplicación de fertilizante y se decidió realizar únicamente la caracterización química de aquellas fibras correspondientes a la cosecha de los 45 días, para de esta manera poder comparar la diferencia en la composición química que puede existir entre estas dos variables, sin incurrir en un mayor consumo de reactivos.

A continuación, en la Tabla 3.9, se resumen los resultados de las fibras correspondientes al cultivo de las plantas a las que se aplicó el fertilizante N30 – P15 – K15 y que fueron cosechadas a los 45 días:

**Tabla 3.9.** Resultados de los análisis de caracterización química de la fibra de ramio cosechada a los 45 días con la aplicación de fertilizante

<b>Determinación</b>	<b>%</b>
Humedad Inicial	7,10
Humedad para análisis	6,20
Ceras, Grasas y resinas	0,45
Celulosa	88,11
Lignina	0,18
Pentosanos	5,93
Cenizas	4,92
Solubilidad en agua caliente	12,20

Solubilidad en Sosa al 1%	11,91
---------------------------	-------

- **Determinación del contenido de humedad inicial y de análisis:** Los resultados obtenidos de esta determinación para la fibra de ramio con fertilizante indican un porcentaje de humedad inicial y de análisis similar al de la fibra sin fertilizante.

Como ya se indicó en la sección 3.1.1.1, el contenido de humedad de la fibra depende de la humedad relativa del ambiente, por consiguiente no resulta útil contrastar los resultados para las fibras con y sin fertilizante.

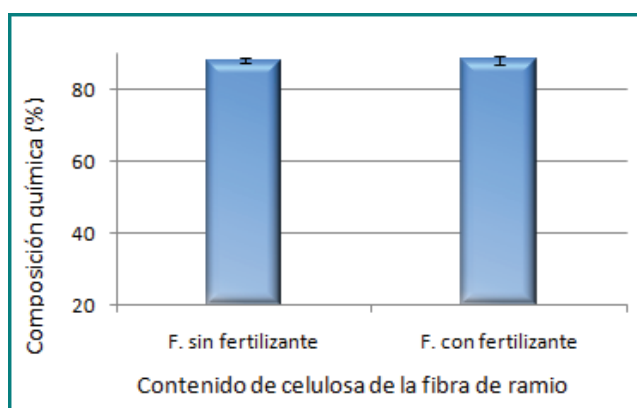
- **Determinación del contenido de celulosa:** Al comparar los resultados de la fibra a la que se le aplicó fertilizante con los de la fibra correspondiente a la misma fecha de corte que no contó con este insumo, se pudo apreciar que no existió una diferencia considerable entre el porcentaje de celulosa entre ambas, lo cual indica que el fertilizante tiene una acción nula en el contenido de celulosa. Sin embargo, dicho efecto probablemente se traduciría en el grado de orientación o cristalinidad de las cadenas de celulosa, hipótesis que puede verse reforzada con el análisis de las propiedades mecánicas que se presenta en la sección 3.2.
- **Determinación del contenido de lignina:** Los resultados de la fibra con fertilizante en cuanto al contenido de lignina, fueron prácticamente iguales a los correspondientes a la misma fecha sin la aplicación del mismo. En este caso se observa que la presencia del fertilizante no favoreció a la lignificación.
- **Determinación del contenido de ceras, grasas y resinas:** de acuerdo a los datos que se presentan en la Tabla 3.9, de las fibras con fertilizante, y al realizar una comparación entre éstos y los exhibidos en la Tabla 3.4, de las fibras sin fertilizante, se determinó que éstas últimas tuvieron un 16,5% mayor contenido de ceras, grasas y resinas, lo cual pudo ocurrir por la acción del fertilizante sobre

otros componentes como el contenido mineral de las fibras que se vio incrementado, disminuyendo en términos de porcentaje el contenido de ceras, grasas y resinas.

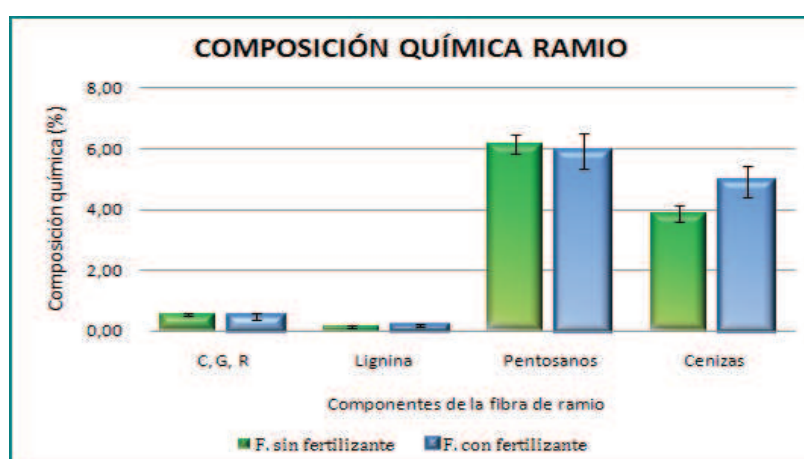
- **Determinación del contenido de pentosanos:** Los resultados exhibidos en la Tabla 3.9, pertenecientes a las fibras de 45 días con aplicación de fertilizante fueron 3,65% menores que los de las fibras de las plantas sin fertilizar, exhibidos en la Tabla 3.5, lo cual demuestra que las cifras fueron muy similares sin existir entre ellas diferencias importantes que se puedan asociar a la presencia de este insumo en las fibras.
- **Determinación del contenido de cenizas:** Según los datos presentados en la Tabla 3.9, se observó que la fibra con fertilizante obtuvo mayores resultados registrados para este análisis que la fibra sin fertilizar cuyo resultado se exhibe en la Tabla 3.6. Lo cual es lógico, pues resulta natural asociar la aplicación de fertilizante con una mejor absorción de nutrientes del suelo por parte de las plantas, lo que incurre en un mayor contenido mineral en las mismas, obteniéndose un incremento en el contenido de cenizas de 22,95% al aplicar el fertilizante.
- **Prueba de solubilidad en sosa:** Al comparar los resultados obtenidos de éste análisis, presentados en la Tabla 3.9, con aquellos presentados en la Tabla 3.7 correspondientes a la cosecha de los 45 días, se puede apreciar entre ellos una diferencia de apenas el 2%. Esto guarda una relación coherente con el contenido de pentosanos, que tampoco se vio afectado por la presencia de fertilizante en las fibras, pues como se había indicado anteriormente en la sección 3.1.1.7 estos componentes guardan una estrecha relación con el análisis de solubilidad en sosa.
- **Prueba de solubilidad en agua caliente:** La fibra con mayor contenido de sustancias solubles en agua a los 45 días de cosecha, fue la que contó con la

aplicación de fertilizante, ya que experimentó un incremento del 11% en esta evaluación de solubilidad, hecho que podría deberse a que el fertilizante favorece el aumento del contenido de sales minerales solubles en agua.

Para una mejor apreciación del efecto del fertilizante sobre la composición química de las fibras, se exponen los resultados generales en las Figuras 3.9 y 3.10, mediante un gráfico de barras que compara el contenido de los constituyentes químicos en las fibras cosechadas a los 45 días con la aplicación de fertilizante y sin él.



**Figura 3.9.** Comparación entre el contenido de celulosa de la fibra de ramio con y sin fertilizante



**Figura 3.10.** Comparación entre el contenido de los componentes químicos de la fibra de ramio con y sin fertilizante

Según los datos mostrados en estos gráficos, el fertilizante influye únicamente en el contenido de cenizas de la fibra, por tanto desde el punto de vista de la caracterización química que considera a la celulosa como el elemento primordial para que el ramio sea tomado en cuenta como una fibra con gran potencial textil, resultaría más económico producir la fibra sin fertilizante. No obstante, desde el punto de vista del desgaste que sufre el terreno con este cultivo, el contenido mineral que aporta el fertilizante a la fibra y al suelo, reflejado en el incremento del porcentaje de cenizas, resulta de gran importancia para promover un desarrollo saludable y sostenible del cultivo.

### **3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LA FIBRA DE RAMIO**

Para el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de ramio se ensayaron las fibras cosechadas en los tres periodos propuestos con y sin la aplicación de fertilizante.

Se realizaron los cálculos del título de la fibra y se midieron la fuerza de carga a la ruptura, elongación a la ruptura y tenacidad; propiedades fundamentales, ampliamente utilizadas para establecer especificaciones y limitaciones en el procesamiento de la fibra y sus aplicaciones finales.

Los resultados de estas pruebas fueron evaluados mediante el análisis estadístico denominado *análisis de varianza* (ANOVA) y el *procedimiento estadístico de Fisher de las diferencias menos significativas* (LSD), que se llevaron a cabo mediante los programas Microsoft Excel 2007 y STATGRAPHICS Plus 5.1.

Para especificar el nivel de confianza a utilizarse en el análisis estadístico de las propiedades mecánicas se consideró que por tratarse de una fibra natural con singulares características de finura, el ramio no presenta uniformidad en cuanto a sus

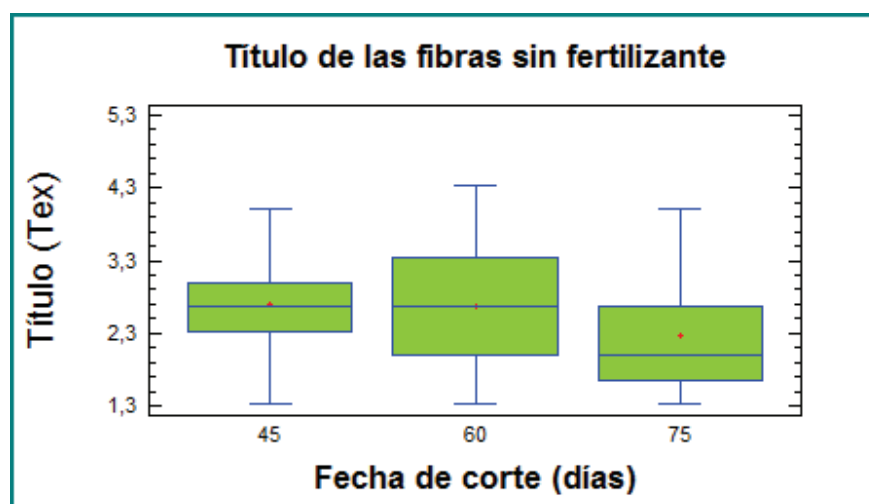


propiedades mecánicas, a lo que se le añaden otros factores tales como el clima, el estado de la plantación, la presencia de plagas, las condiciones del suelo, etc., que también podrían alterar la homogeneidad de las fibras. Por tanto, para el análisis estadístico de las propiedades mecánicas del ramio se utilizó un nivel de confianza del 95%, con la finalidad de que exista un rango de confianza lo suficientemente amplio y al mismo tiempo tomando en cuenta la probabilidad de incluir datos no certeros. (Pontón, 2009).

En el Anexo II se exhibirán todos los datos resultantes de estos análisis y en el Anexo III se presentarán los datos correspondientes al análisis estadístico de las variables.

### 3.2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA FIBRA DE RAMIO

En esta caracterización se determinó únicamente el título de las fibras. Los resultados de esta propiedad presentaron una dispersión considerable como se observa en la Figura 3.11 que corresponde a las fibras cosechadas a las diferentes fechas sin la aplicación de fertilizante.



**Figura 3.11.** Diagrama de caja y bigote del título de las fibras de ramio sin fertilizante

El análisis estadístico reveló que no existió una diferencia significativa entre el título de la fibra de ramio cosechada a los 45 y 60 días, pero sí hubo variación de estos resultados con respecto a los 75 días, en cuyo caso el título de la fibra disminuyó aproximadamente en un 16%.

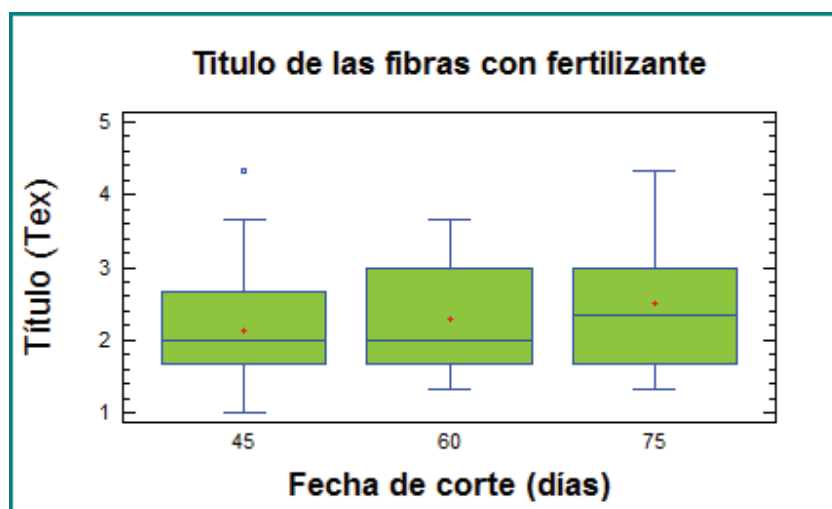
Es importante indicar que el método de extracción de la fibra pudo influir en este resultado, puesto que al colocar los tallos en el recipiente para la extracción por agua caliente, probablemente la disposición de los mismos intervino en la emigración de los compuestos solubles de la fibra. Así la fibra cosechada a los 75 días posiblemente perdió una mayor cantidad de extractables acuosos y en vista de que el título es la relación entre la masa y la longitud de la fibra, para una misma longitud, se tuvo menos peso en la fibra de los 75 días, consecuentemente, el título de la misma se vio disminuido. En la Figura 3.12, se observa la manera en que los tallos se encontraron distribuidos durante la extracción por agua caliente, lo cual ayuda a entender en parte la explicación.



**Figura 3.12.** Disposición de los tallos de la fibra de ramio durante la extracción en agua caliente

En la Figura 3.13, se muestran los títulos de las fibras cosechadas a las diferentes fechas con la aplicación de fertilizante. El ANOVA indicó que no existió una variación

estadísticamente significativa entre el título de las fibras cosechadas a los 45, 60 y 75 días con la aplicación de fertilizante.



**Figura 3.13.** Diagrama de caja y bigote de los títulos de las fibras cosechadas con fertilizante

A continuación, en la Tabla 3.10 se presentan los títulos de las fibras con y sin fertilizante.

**Tabla 3.10.** Títulos de las fibras de ramio con y sin fertilizante

TÍTULO (Tex)	FECHA DE CORTE		
	45 días	60 días	75 días
Con fertilizante	2,13 ± 0,79	2,29 ± 0,68	2,50 ± 0,77
Sin fertilizante	2,70 ± 0,58	2,68 ± 0,81	2,26 ± 0,75

En la Tabla 3.17, se nota que las fibras con fertilizante exhibieron en general títulos menores que las fibras sin fertilizante para las mismas fechas, con excepción del día 75.

Al no encontrar diferencias significativas entre los datos presentados en éste análisis se puede deducir que éstos no reflejan una tendencia de la dependencia de los títulos de las fibras con relación al tiempo de cosecha, puesto que sería natural pensar que al transcurrir el tiempo, las células de las fibras van a engrosar.

Sin embargo, al observar que las fibras con fertilizante no presentan cambios en su engrosamiento, se asocia este resultado con el de la celulosa que no presenta variaciones importantes después de los 45 días pues para ese momento ya ha alcanzado su madurez fisiológica y puesto que este es el componente más abundante en las fibras, se justificaría este resultado.

### 3.2.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA DE RAMIO

#### 3.2.2.1 Fuerza a la ruptura

A continuación en la Tabla 3.11 se presentan los resultados de la fuerza a la ruptura de las fibras de ramio con y sin fertilizante.

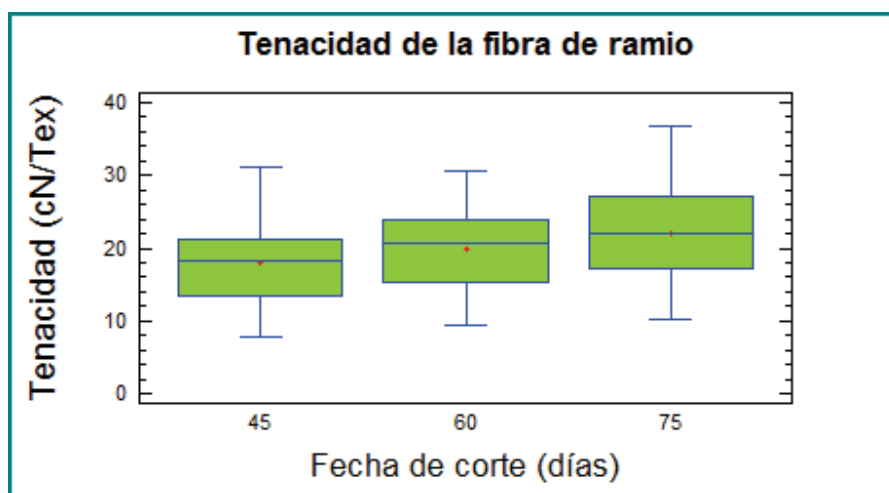
**Tabla 3.11.** Resultados de la fuerza a la ruptura de la fibra de ramio con y sin fertilizante

FUERZA A LA RUPTURA (cN)	FECHA DE CORTE		
	45 días	60 días	75 días
Sin fertilizante	46,74	52,93	47,85
Con fertilizante	37,37	52,45	59,26

Al comparar los datos resultantes de la carga a la ruptura, se obtuvo que la fibra con mayor fuerza promedio fue la cosechada a los 60 días para el caso de la fibra con fertilizante y de 75 días para la fibra sin fertilizante. Sin embargo, por la aleatoriedad que existe normalmente en los análisis realizados con fibras naturales, se obtuvieron cargas a la ruptura muy diferentes entre sí para la fibra de ramio, puesto que las fibras con títulos menores, se rompen con cargas más bajas, mientras aquellas con títulos mayores requieren que se aplique más fuerza para su ruptura, lo cual impide comparar los datos de fuerza de carga a la ruptura de todas las fibras. Por esta razón, resulta más útil relacionar las tenacidades obtenidas que se definen como la relación entre la carga a la ruptura y el título de la fibra.

### 3.2.2.2 Tenacidad

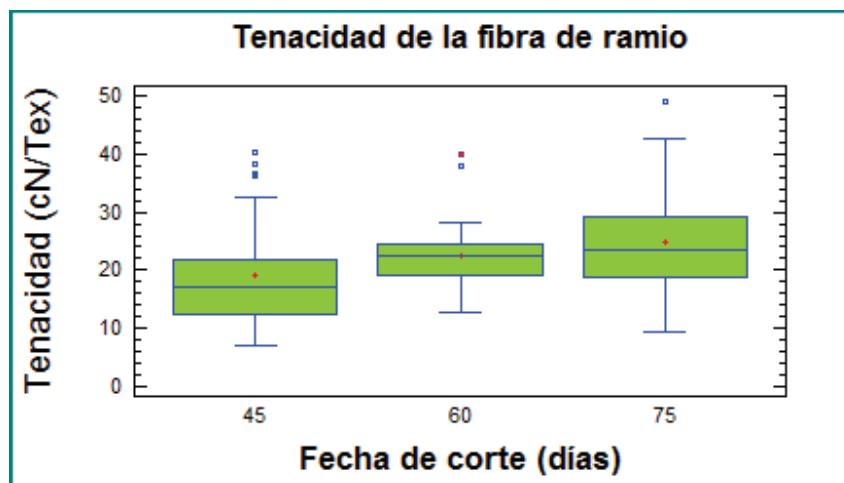
A continuación, en la Figura 3.14, se presenta el diagrama de caja y bigote de la prueba de tenacidad para las fibras de ramio cosechadas sin fertilizante.



**Figura 3.14.** Diagrama de caja de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio sin fertilizante

Al comparar estadísticamente los tres resultados, se obtuvo que no existió diferencia estadísticamente significativa entre la fibra cosechada a los 45 días y los 60 días, ni entre ésta última y la cosechada a los 75 días. Sin embargo existe un aumento del 23% entre la primera cosecha y la última de la fibra sin aplicación de fertilizante, por lo que el mayor resultado de tenacidad para las fibras sin fertilizante perteneció a los 75 días de cosecha. Si bien el contenido de celulosa no aumentó sustancialmente a los 75 días de cosecha, es posible que el ordenamiento de las cadenas de celulosa se haya tornado más cristalino al finalizar este periodo, lo cual pudo influir positivamente en las fibras otorgándoles una mayor resistencia a la tracción conforme se incrementó el tiempo del cultivo. Otro factor determinante para este resultado podría ser el aumento en el contenido de lignina al transcurrir el tiempo de cosecha, pues al ser ésta un elemento que confiere fortaleza y rigidez a las fibras, favorecería a la resistencia de las mismas otorgándoles así una mayor tenacidad.

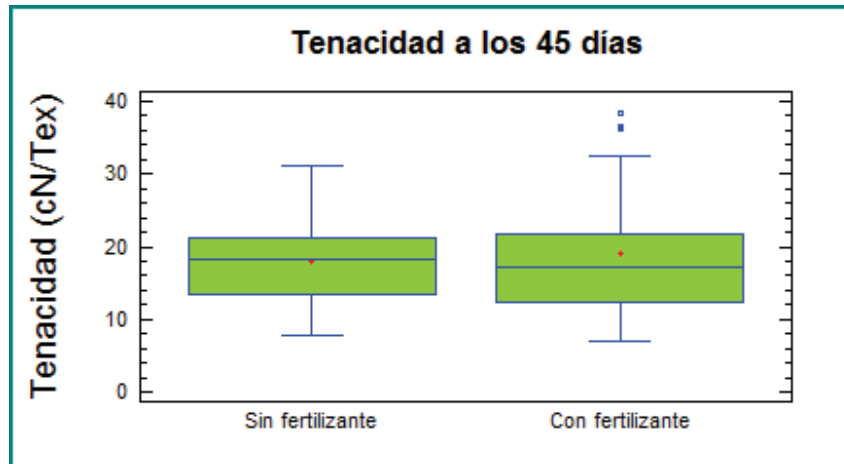
Para el caso de las fibras con fertilizante, los resultados de tenacidad se indican en la Figura 3.15.



**Figura 3.15.** Diagrama de caja de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio con fertilizante

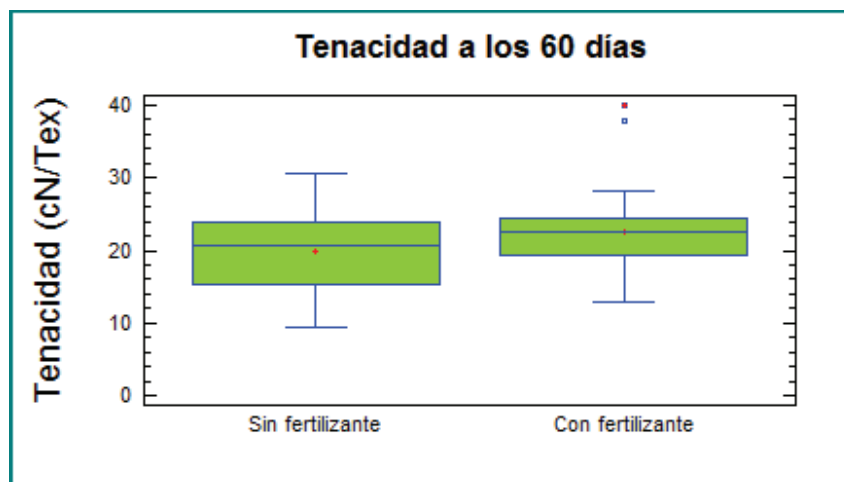
Al realizar el ANOVA se encontró un aumento significativo de tenacidad del 30% a los 75 días con respecto a la de la fibra obtenida en el primer corte. Por lo tanto, el mayor resultado de tenacidad para las fibras con fertilizante correspondió a los 75 días de cosecha. A pesar de no haberse realizado la caracterización química para las fibras con fertilizante a los 60 y 75 días de cosecha, los resultados de tenacidad sugieren que en la última fecha de cosecha ensayada, el ordenamiento de las cadenas de celulosa se tornó más cristalino, lo que probablemente confirió a las fibras una mayor resistencia a la tracción a medida que transcurrió el tiempo del cultivo.

A continuación en la Figura 3.16, se indica un gráfico de caja y bigote que compara a las fibras con y sin fertilizante cosechadas a los 45 días, en el que se puede ver que entre ambas no existe una diferencia considerable, y que por tanto, para este periodo, la acción del fertilizante no ha sido un factor determinante en la calidad de las fibras.



**Figura 3.16.** Diagrama de caja y bigote de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio cosechada a los 45 días

El análisis estadístico ANOVA realizado para las fibras cosechadas a los 60 días con y sin fertilizante, se expresó a través de la Figura 3.17 presentada a continuación.

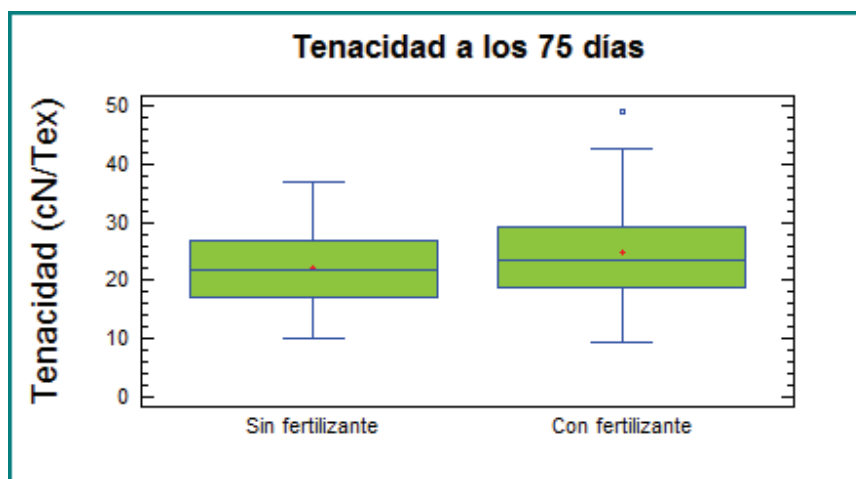


**Figura 3.17.** Diagrama de caja y bigote de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio cosechada a los 60 días

Este análisis dio como resultado que al aplicar fertilizante, la tenacidad de la fibra de ramio aumenta un 13,3% con respecto a la que no contó con esta aplicación, lo que

permite inferir que el fertilizante empezó a ejercer su acción sobre la fibra en este periodo.

En las comparaciones de las fibras cosechadas a diferentes tiempos se pudo notar que las fibras que presentan resultados de tenacidad más altos, marcando diferencias significativas con respecto a las otras fibras dentro de sus grupos, corresponden a los 75 días. Por lo tanto, fue muy importante compararlas entre sí a través del análisis estadístico ANOVA. Los resultados obtenidos de dicho análisis se exhiben a continuación en la Figura 3.18.



**Figura 3.18.** Diagrama de caja y bigote de la prueba de tenacidad para la fibra de ramio cosechada a los 75 días

Este diagrama indica que no existieron diferencias significativas entre estos dos resultados. Sin embargo, al no encontrarse diferencias importantes tampoco entre estos dos valores y los correspondientes a los de las fibras cosechadas a los 60 días, se puede deducir que es en ésta fecha en la que se encuentra el desarrollo óptimo de la planta para cosechar una fibra con las mejores características de tenacidad en Ecuador.

Al observar que se obtuvieron mayores valores de tenacidad por la utilización de fertilizante para los tres días de cosecha propuestos, se podría sugerir en términos generales que el uso de fertilizante pudo influir en el ordenamiento de las cadenas de



celulosa, sugiriendo que existió la formación de una estructura más cristalina que otorgó a las fibras una mayor resistencia a la tracción. El aporte de Nitrógeno dado por el fertilizante, probablemente ayudó a la formación de puentes de hidrógeno, puesto que éstas moléculas de Nitrógeno tienen cargas ligeramente negativas, que atraen la polaridad ligeramente positiva del hidrógeno presente en las moléculas de las cadenas de celulosa, lo cual reforzaría la unión de las mismas y por tanto contribuiría al aumento de tenacidad de las fibras.

Por otro lado, al comparar los resultados de tenacidad con la referencia bibliográfica se observó que la tenacidad en este estudio fue menor a la reportada en bibliografía probablemente por el método de extracción, el clima o las características que la fibra presenta en Ecuador.

### 3.2.2.3 Elongación a la ruptura

En la Tabla 3.12, se pueden observar los resultados obtenidos de esta prueba que al ser sometidos al análisis de la varianza ANOVA, indican que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ni dentro de los mismos.

**Tabla 3.12.** Resultados de la elongación a la ruptura de la fibra de ramio con y sin fertilizante

ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%)	FECHA DE CORTE		
	45 días	60 días	75 días
Sin fertilizante	0,27 ± 0,14	0,26 ± 0,09	0,26 ± 0,19
Con fertilizante	0,25 ± 0,12	0,30 ± 0,12	0,29 ± 0,15

Esta propiedad tuvo resultados bajos con respecto a los expuestos en bibliografía, lo que puede deberse a las condiciones del clima y el terreno de la zona del cultivo o bien las condiciones en las que la fibra fue extraída pudieron afectar a la capacidad de elongación de la fibra.

Al derivar del aumento de tenacidad de la fibra, un incremento en la cristalinidad de la estructura de la celulosa, se hubiera esperado que la elongación a la ruptura disminuyera, puesto que mientras mayor tenacidad muestra la fibra, ésta se torna menos flexible, lo que se traduciría en una baja elongación a la ruptura. Sin embargo, en este caso no se puede apreciar una relación entre estas dos propiedades en el transcurso del tiempo de cosecha, lo que disminuiría la posibilidad de que esa hipótesis sea correcta. Esto reafirmaría la hipótesis de que el proceso de lignificación de la fibra, le confiere a la misma una mayor tenacidad.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Tanto los métodos indicados en las normas TAPPI para realizar la caracterización química, como los procedimientos sugeridos por las normas ASTM 3822 para la caracterización mecánica que fueron aplicados en este estudio para las fibras de ramio, fueron válidos y permitieron realizar comparaciones entre las distintas variables aplicadas.
- Los resultados de la determinación del contenido de celulosa de las fibras de ramio cosechadas a diferentes periodos, con la aplicación de fertilizante y sin él, permiten inferir que a los 45 días, en los cuales las fibras están formadas por un 88,13% de celulosa, la planta de ramio ya ha alcanzado la madurez fisiológica en las condiciones de humedad y temperatura de la zona, puesto que después de esta fecha no se observan cambios considerables de este componente.
- El contenido de lignina de las fibras de ramio va aumentando con el transcurso del tiempo, por lo que el resultado más alto que se obtuvo correspondió a los 75 días y fue de 0,346%, sin observarse diferencias importantes frente a las fibras con fertilizante. Los valores de lignina para las fibras de ramio son mínimos, lo que facilitaría las operaciones y manipulación de las mismas dentro de varias aplicaciones cuyo proceso requiera su eliminación.
- Los análisis correspondientes al contenido de ceras, grasas y resinas indicaron que éstas disminuyeron en la última cosecha, correspondiente al día 75 y que su contenido más alto fue de 0,548% a los 45 días, siendo ligeramente más bajo en las fibras con fertilizante.

- Los resultados de la determinación del contenido de pentosanos indicaron que éstos se encuentran en mayor concentración en la fibra a los 60 días, alcanzando un promedio del 8% para luego decrecer en un 11% en la cosecha de los 75 días.
- Al analizar los resultados de tenacidad dentro del grupo de las fibras que no contaron con la aplicación de fertilizante, la mejor respuesta fue la de aquellas que se cosecharon a los 75 días obteniéndose un aumento de tenacidad del 10% respecto al primer día de corte.
- Para el grupo de fibras a las que se aplicó fertilizante, la mayor tenacidad también se obtuvo para el caso de las fibras correspondientes a los 75 días de cosecha, lo que demuestra que existe una tendencia de la fibra a aumentar su tenacidad con el tiempo de cultivo. Cabe mencionar que las fibras cosechadas a los 60 días no observaron diferencias considerables con respecto a esta última fecha de cosecha en ninguno de los dos grupos.
- Al comparar las tenacidades de las fibras con y sin fertilizante cosechadas a los 75 días, que fueron aquellas que presentaron los valores más altos de esta propiedad, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambas. Sin embargo, para las fibras cosechadas a los 60 días, el análisis estadístico ANOVA reveló que el grupo que fue fertilizado obtuvo una tenacidad 13% mayor que el grupo que creció naturalmente.
- Se observó que el fertilizante muestra un considerable efecto positivo sobre la tenacidad de la fibra, lo cual puede encontrarse ligado al aumento en el contenido de lignina del ramio con el transcurso de los tiempos de cosecha.
- La fibra a la que se aplicó fertilizante cosechada a los 60 días presentó excelentes características en cuanto a propiedades mecánicas, presentando al mismo tiempo un alto contenido de celulosa, por lo tanto es la elección más apropiada para los propósitos de este estudio.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Es importante considerar la alternativa de realizar en el futuro un estudio de caracterización de las fibras de ramio con una cosecha previa a los 45 días tomando en cuenta que en este punto la planta ya ha completado su desarrollo y el contenido de celulosa de sus fibras no aumenta significativamente con el tiempo.
- Es recomendable realizar estudios del grado de ordenamiento de las cadenas celulósicas de las fibras de ramio a nivel microscópico para confirmar la hipótesis de la influencia del tiempo de cosecha y del uso de fertilizante sobre el grado de cristalinidad de la estructura celulósica y así inferir el efecto de este ordenamiento en la tenacidad.
- Al observar que no existieron diferencias significativas en la composición química de las fibras al aplicar fertilizante, se recomienda experimentar con varias concentraciones de los componentes de este insumo (N – P – K) para conocer cuál de ellas permite incrementar las propiedades mecánicas de las fibras.
- Resultaría útil probar otros métodos de extracción de la fibra de ramio que permitan obtener fibras completas sin causar abrasión sobre las mismas ni interferir sobre sus propiedades mecánicas. Así como también se podría estudiar el efecto que surgiría sobre las fibras al variar los parámetros del proceso de desfibrado mecánico tales como la velocidad a la que trabaja la desfibradora, el ángulo de ataque y la distancia entre la cuchilla fija y la cuchilla móvil.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Basaure, F., 2005, "Composición química de la celulosa y la lignina", <http://www.manualdelombricultura.com/wwwboard/messages/9645.html>, (Septiembre, 2009)
2. Boschini, C. y Rodríguez, A., 2002, "Rendimiento del ramio (*bohemeria nivea* (L) gaud) Cultivado para forraje" [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v13n01\\_031.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v13n01_031.pdf) (Noviembre, 2009)
3. Bourne, G. y Danielli, J., 1984, "International review of cytology" Editorial Academic Press, 1ra. Edición, Orlando – Estados Unidos, pp. 80 – 82
4. Carballo, L., 1998, "Hemicelulosas de maderas", <http://www.monografias.com/trabajos46/hemicelulosas-maderas/hemicelulosas-maderas.shtml>, (Agosto, 2009)
5. Casey, J., 1991, "Pulpa y papel, Química y tecnología química", Vol. 1., Editorial Limusa, S.A., 1ra. edición, México D.F., México, pp.
6. Chaplin, M., 2008, "Cellulose", <http://www.lsbu.ac.uk/water/hycel.html> (Diciembre, 2009)
7. CIG, 2009, "Estadísticas Económicas del Sector Industrial del Ecuador", <http://www.cig.org.ec> (Septiembre, 2009)
8. Claude, L., 2000, "Fats and oils", <http://www.cyberlipid.org/index.htm>, (Agosto, 2009)
9. CORPEI, 2008, "Perfil de textiles y confecciones", <http://www.ecuadorexporta.org>, (Septiembre, 2009)
10. FAO, 2009 "Año internacional de las fibras naturales", <http://www.naturalfibres2009.org> (Julio, 2009)

11. Erhardt, T., Blunke, M., Burger, A., Marklin, S. y Quinzler, J., 1990, "Tecnología textil II", Editorial Trillas, 2da. edición, México D.F., México., pp. 41 – 44.
12. Fernández, M., 2009, "Ramio, nueva alternativa forrajera para la región sub húmeda tucumana", [http://www.produccion.com.ar/2000/00mar\\_09.htm](http://www.produccion.com.ar/2000/00mar_09.htm), (Agosto, 2009)
13. Gilman, J., Kumar, S., Jain, R., Chae, H., Koziol, K., Windle, A., 2002, "Cellulose and Silk Nanocomposites Processing using Ionic Liquids", [www.sameerrahatekar.org/Cellulose\\_Silk\\_IL.html](http://www.sameerrahatekar.org/Cellulose_Silk_IL.html), (Octubre, 2009)
14. González, A., 2008, "Morfología de plantas vasculares", <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema12/12-5uso.htm> (Octubre, 2009)
15. Guerrón, G. 2005, "Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalanón para la elaboración de hilo artesanal" Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, EPN, Quito, Ecuador, pp. 8 – 16.
16. Gurtler, M. y Kind, W., 1930, "La industria textil", 3ra. Edición, Editorial Labor S.A., Barcelona, España, P. 41
17. Hans, A., 1996, "Cellulose, Structure, Accessibility and Reactivity", 2da. Edición, Editorial Gordon and Breach Science, Amsterdam, Países Bajos, pp. 6 – 25, 156 – 158.
18. Hines, W. y Montgomery, D., 2004, "Probabilidad y Estadística para Ingeniería", 3ra. edición, Editorial Continental, México D.F., México, pp.
19. Hollen, N., Saddler, J., 1992, "Introducción a los textiles", 5ta. edición, Editorial Limusa S.A., México D.F., México, pp. 17 -20; 46-55.
20. Isunte, H., 2006 "Ramie yarns" <http://www.swicofil.com/products/007ramie.html>, (Noviembre, 2009)

21. *Lamoureux F.*, 2007, "Proteoglycans: key partners in bone cell biology", *Bioessays*, 29, 758
22. León, J., 1987, "Botánica de los cultivos tropicales", 2da edición, Editor Snarskis, M., San José, Costa Rica, p. 257
23. Maldonado, R., 2008, "Ramio: un cultivo alternativo para producción de textiles", <http://www.listin.com.do/app/article.aspx?id=79083>, (Octubre, 2009).
24. McCrady, E., 2008, "The nature of ligning", <http://cool.conservation-us.org/byorg/abbey/ap/ap04/ap04-4/ap04-402.html>, (Agosto, 2009)
25. Ministerio de comercio exterior, industrialización, pesca y competitividad, (MIPRO) Banco Mundial, (BM); "Estudio de competitividad del sector textiles y confecciones", Año 2000, Quito – Ecuador
26. MIPRO, 2009, "Política industrial y el sector textil ecuatoriano", [http://www.micip.gov.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&catid=7:boletines-publicados-&id=209:politica-industrial-y-el-sector-textil-ecuatoriano&Itemid](http://www.micip.gov.ec/index.php?option=com_content&view=article&catid=7:boletines-publicados-&id=209:politica-industrial-y-el-sector-textil-ecuatoriano&Itemid) (Noviembre, 2009)
27. Mohanty, A., Misra, M., Drzal, L., 2005, "Natural fibers, biopolymers, and biocomposites", Editorial Taylor & Francis, 10ma. Edición, Boca Ratón, Estados Unidos, pp. 41 – 54
28. Nasimul, M., 2002, "Comparative effect of water hyacinth and chemical fertilizer on growth and fiber quality of jute", <http://eprints.kfupm.edu.sa/93781/>, (Diciembre, 2009)
29. Ott, E., Sprulin, H., Graffin, M., 1963, "Cellulose and cellulose derivatives", Editorial Interscience publishers, Inc., 2da. Edición, Nueva York, Estados Unidos, pp. 13 – 19.
30. Pontón, P. 2009, "Estudio del efecto de encolado de fibra de abacá en el mejoramiento de su capacidad de tisaje", Proyecto de titulación previo a la



- obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, EPN, Quito, Ecuador, pp. 157 – 159.
31. Ramírez, V., 2009, “Proyecto Ramio en República Dominicana”, <http://www.ramiethanol.com>, (Julio, 2009)
  32. Rupp, J. 2009 “Textile World”, [http://www.textilespanamericanos.com/Articles/2009/Septiembre-octubre/Una\\_Bienvenida\\_de\\_Halit\\_Narin.html](http://www.textilespanamericanos.com/Articles/2009/Septiembre-octubre/Una_Bienvenida_de_Halit_Narin.html) (Noviembre, 2009)
  33. SENA, 2008, “Banco de Proteína”, <http://produccionpecuariasena2008.blogspot.com/2009/02/banco-de-proteina.html> (Diciembre, 2009)
  34. Sing, D., 2006, “Ramie, (*Boehmeria nivea*)”, <http://assamagribusiness.nic.in/RAMIE.pdf>, (Julio, 2009)
  35. Scruggs, B. y Smith, J., 2008, “Ramie: old fiber, new image”, <http://ohioline.osu.edu/hyg-fact/5000/5501.html>, (Diciembre, 2009)
  36. Swicofil Textile Services, 2008, “Ramie yarns”, <http://www.swicofil.com/products/007ramie.html>, (Diciembre, 2009)
  37. The Textile Institute and the Society of dyers and colourists, 1954, “Review of textile progress”, Editorial Tinling & Co. Ltd., Londres, Inglaterra, pp. 32 - 34
  38. Wu, J., 2009, “Ramie fiber yarns”, <http://www.alibaba.com/product-gs/222397101/.html> (Noviembre, 2009)

## **ANEXOS**

**ANEXO I. Caracterización de la fibra de ramio cosechada a los 45, 60 y 75 días con la aplicación de fertilizante y sin él.**

**Tabla I.1.** Determinación del contenido de humedad inicial y de análisis para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>ANÁLISIS DE HUMEDAD</b>					
<b>Fibra de Ramio</b>					
<b>Edad de corte</b>	<b>Determinación de Humedad</b>	<b>Peso Inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>% Humedad</b>	<b>Promedio</b>
<b>45 días</b>	<b>Análisis</b>	2,000	1,882	5,900	5,875
		2,000	1,883	5,850	
	<b>Inicial</b>	2,000	1,847	7,650	7,775
		2,000	1,842	7,900	
<b>60 días</b>	<b>Análisis</b>	2,000	1,870	6,500	6,550
		2,000	1,868	6,600	
	<b>Inicial</b>	2,000	1,819	9,050	8,950
		2,000	1,823	8,850	
<b>75 días</b>	<b>Análisis</b>	2,000	1,878	6,100	6,175
		2,000	1,875	6,250	
	<b>Inicial</b>	2,000	1,830	8,500	8,175
		2,000	1,843	7,850	
<b>45 días Fertilizante</b>	<b>Análisis</b>	2,000	1,871	6,450	6,200
		2,000	1,881	5,950	
	<b>Inicial</b>	2,000	1,873	6,350	7,100
		2,000	1,843	7,850	

**Tabla I. 2.** Determinación del contenido de celulosa para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>CELULOSA</b>					
<b>Edad de corte</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso inicial crisol</b>	<b>Peso final crisol</b>	<b>% Celulosa</b>	<b>Promedio</b>
45 Días	0,059	49,742	51,392	87,649	88,127
		31,066	32,734	88,606	
60 Días	0,065	50,844	52,503	88,764	88,443
		49,667	51,314	88,122	
75 Días	0,062	30,226	31,925	90,541	89,635
		30,526	32,191	88,729	
45 días Fertilizante	0,062	30,219	31,886	88,859	88,113
		31,066	32,705	87,367	

**Tabla I. 3.** Determinación del contenido de lignina para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>LIGNINA</b>					
<b>Edad de corte</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso inicial crisol</b>	<b>Peso final crisol</b>	<b>% Lignina</b>	<b>Promedio</b>
45 Días	0,059	50,257	50,259	0,202	0,170
		49,737	49,738	0,138	
60 Días	0,065	50,844	50,846	0,214	0,268
		50,197	50,200	0,321	
75 Días	0,062	50,380	50,384	0,373	0,346
		49,667	49,670	0,320	
45 días Fertilizante	0,062	50,844	50,846	0,160	0,187
		49,737	49,739	0,213	

**Tabla I. 4.** Determinación del contenido de ceras, grasas y resinas para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>CERAS GRASAS Y RESINAS</b>						
<b>Fibra de Ramio</b>						
<b>Edad de corte</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso inicial balones</b>	<b>Peso final balones</b>	<b>Peso timbles</b>	<b>% Grasas</b>	<b>Promedio</b>
45 Días	0,059	108,627	108,68	9,935	0,567	0,548
		115,078	115,132	10,851	0,529	
60 Días	0,065	107,453	107,495	9,844	0,457	0,522
		105,187	105,239	9,471	0,588	
75 Días	0,062	103,074	103,109	9,629	0,387	0,399
		109,597	109,635	9,858	0,411	
45 días Fertilizante	0,062	107,696	107,732	9,111	0,421	0,457
		110,128	110,165	8,007	0,493	

**Tabla I. 5.** Determinación del contenido de pentosanos para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>PENTOSANOS</b>				
<b>Edad de corte</b>	<b>Blanco</b>	<b>Volumen de Tiosulfato consumido</b>	<b>% pentosanos</b>	<b>Promedio</b>
45 Días	74,250	64,400	6,388	6,163
		65,000	5,938	
60 Días	74,250	62,900	7,513	7,963
		61,700	8,413	
75 Días	74,250	64,000	6,688	7,025
		63,100	7,363	
45 días Fertilizante	74,250	64,500	6,313	5,938
		65,500	5,563	

**Tabla I. 6.** Determinación del contenido de cenizas para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>CENIZAS</b>					
<b>Edad de corte</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso inicial crisol</b>	<b>Peso final crisol</b>	<b>% Cenizas</b>	<b>Promedio</b>
45 Días	0,059	1,000	0,0391	3,680	3,878
		1,000	0,0433	4,076	
60 Días	0,065	1,000	0,0232	2,168	2,173
		1,000	0,0233	2,177	
75 Días	0,062	1,000	0,0290	2,721	2,261
		1,000	0,0192	1,801	
45 días Fertilizante	0,062	1,000	0,0570	5,347	4,925
		1,000	0,0480	4,502	

**Tabla I. 7.** Prueba de solubilidad en sosa para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>SOLUBILIDAD EN SOSA</b>					
<b>Edad de corte</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso inicial crisoles</b>	<b>Peso final crisoles</b>	<b>% Solubilidad sosa</b>	<b>Promedio</b>
45 Días	0,059	52,380	52,178	10,730	11,687
		32,526	32,288	12,643	
60 Días	0,065	32,226	31,928	15,944	15,356
		52,844	52,568	14,767	
75 Días	0,062	52,202	51,952	13,323	13,349
		33,066	32,815	13,376	
45 días Fertilizante	0,062	32,219	31,987	12,367	11,914
		32,066	31,851	11,461	

**Tabla I. 8.** Prueba de solubilidad en agua caliente para la fibra de ramio con y sin fertilizante

<b>SOLUBILIDAD EN AGUA CALIENTE</b>					
<b>Edad de corte</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso inicial crisoles</b>	<b>Peso final crisoles</b>	<b>% Solubilidad agua caliente</b>	<b>Promedio</b>
45 Días	0,059	51,737	51,521	11,474	10,996
		52,257	52,059	10,518	
60 Días	0,066	52,844	52,507	18,036	16,805
		32,269	31,978	15,574	
75 Días	0,062	30,375	30,045	17,581	16,516
		51,667	51,377	15,450	
45 días Fertilizante	0,062	52,182	51,926	13,646	12,207
		52,38	52,178	10,768	

**ANEXO II. Caracterización físico - mecánica de la fibra de ramio cosechada a los 45, 60 y 75 días con la aplicación de fertilizante y sin él.**



**Tabla II. 1.** Ensayo de tensión de la fibra de ramio sin fertilizante cosechada a los 45 días

<b>N.</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>TITULO (tex)</b>	<b>F CARGA RUP (cN)</b>	<b>X (mm)</b>	<b>TENACIDAD (cN/tex)</b>	<b>ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%)</b>
1	0,0007	2,333	47,500	1,425	20,357	0,285
2	0,0009	3,000	37,500	0,901	12,500	0,180
3	0,0007	2,333	35,000	0,301	15,000	0,060
4	0,0008	2,667	22,500	1,447	8,438	0,289
5	0,0006	2,000	31,250	2,303	15,625	0,461
6	0,0009	3,000	40,000	0,961	13,333	0,192
7	0,0007	2,333	72,500	1,387	31,071	0,277
8	0,0009	3,000	57,500	1,416	19,167	0,283
9	0,0007	2,333	42,500	0,928	18,214	0,186
10	0,0007	2,333	30,000	0,746	12,857	0,149
11	0,0010	3,333	45,000	1,123	13,500	0,225
12	0,0010	3,333	53,750	1,373	16,125	0,275
13	0,0012	4,000	31,250	0,644	7,813	0,129
14	0,0009	3,000	69,750	0,983	23,250	0,197
15	0,0007	2,333	42,500	1,216	18,214	0,243
16	0,0006	2,000	56,250	0,966	28,125	0,193
17	0,0008	2,667	68,750	0,982	25,781	0,196
18	0,0007	2,333	40,000	0,988	17,143	0,198
19	0,0006	2,000	38,000	0,872	19,000	0,174
20	0,0008	2,667	67,500	0,967	25,313	0,193
21	0,0008	2,667	36,250	1,411	13,594	0,282
22	0,0010	3,333	53,000	3,363	15,900	0,673
23	0,0012	4,000	38,750	0,644	9,688	0,129
24	0,0008	2,667	58,750	0,966	22,031	0,193
25	0,0007	2,333	41,250	3,560	17,679	0,712
26	0,0008	2,667	25,000	1,280	9,375	0,256
27	0,0011	3,667	40,000	0,512	10,909	0,102
28	0,0009	3,000	63,750	1,497	21,250	0,299
29	0,0007	2,333	47,500	1,903	20,357	0,381
30	0,0010	3,333	56,250	1,903	16,875	0,381
31	0,0008	2,667	52,500	1,368	19,688	0,274
32	0,0004	1,333	25,000	1,486	18,750	0,297
33	0,0006	2,000	42,500	1,289	21,250	0,258
34	0,0007	2,333	65,000	1,870	27,857	0,374
35	0,0009	3,000	61,500	2,612	20,500	0,522
<b>PROMEDIO</b>	0,0008	2,695	46,743	1,306	17,901	0,272

<b>DESV. STAN</b>	0,0002	0,585	13,829	0,692	5,699	0,142
<b>COEF. VAR</b>	21,707	21,707	29,586	52,933	31,835	52,343

**Tabla II. 2.** Ensayo de tensión de la fibra de ramio sin fertilizante cosechada a los 60 días

<b>N.</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>TITULO (tex)</b>	<b>F CARGA RUP (cN)</b>	<b>X (mm)</b>	<b>TENACIDAD (cN/tex)</b>	<b>ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%)</b>
1	0,0004	1,333	31,250	0,869	23,4375	0,174
2	0,0012	4,000	61,250	0,744	15,3125	0,149
3	0,0005	1,667	37,500	1,077	22,5000	0,215
4	0,0007	2,333	62,500	0,995	26,7857	0,199
5	0,0007	2,333	71,250	1,415	30,5357	0,283
6	0,0012	4,000	82,500	1,937	20,6250	0,387
7	0,0009	3,000	76,250	1,951	25,4167	0,390
8	0,0005	1,667	26,250	0,850	15,7500	0,170
9	0,0009	3,000	73,750	1,107	24,5833	0,221
10	0,0006	2,000	25,500	1,135	12,7500	0,227
11	0,0009	3,000	38,000	1,169	12,6667	0,234
12	0,0011	3,667	56,250	0,949	15,3409	0,190
13	0,0005	1,667	48,750	1,772	29,2500	0,354
14	0,0004	1,333	15,250	1,257	11,4375	0,251
15	0,0005	1,667	36,250	1,464	21,7500	0,293
16	0,0009	3,000	47,500	1,119	15,8333	0,224
17	0,0007	2,333	48,750	1,126	20,8929	0,225
18	0,0008	2,667	28,750	0,854	10,7813	0,171
19	0,0012	4,000	72,250	1,121	18,0625	0,224
20	0,0007	2,333	36,000	1,184	15,4286	0,237
21	0,0011	3,667	43,750	1,398	11,9318	0,280
22	0,0013	4,333	78,520	1,959	18,1200	0,392
23	0,0010	3,333	76,250	1,686	22,8750	0,337
24	0,0009	3,000	83,750	3,060	27,9167	0,612
25	0,0009	3,000	86,250	1,000	28,7500	0,200
26	0,0008	2,667	53,750	1,611	20,1563	0,322
27	0,0006	2,000	35,000	0,754	17,5000	0,151
28	0,0007	2,333	57,500	1,261	24,6429	0,252
29	0,0008	2,667	25,000	2,251	9,3750	0,450
30	0,0010	3,333	80,000	0,762	24,0000	0,152
31	0,0007	2,333	38,500	1,256	16,5000	0,251
32	0,0009	3,000	70,250	1,389	23,4167	0,278
33	0,0005	1,667	32,000	0,984	19,2000	0,197
34	0,0006	2,000	46,000	1,280	23,0000	0,256
35	0,0010	3,333	70,500	1,370	21,1500	0,274
<b>PROMEDIO</b>	0,0008	2,6762	52,9363	1,3176	19,9336	0,264

<b>DESV. STAN</b>	0,0002	0,8184	20,4819	0,4827	5,6653	0,097
<b>COEF. VAR</b>	30,582	30,582	38,692	36,631	28,421	36,631

**Tabla II. 3.** Ensayo de tensión de la fibra de ramio sin fertilizante cosechada a los 75 días

<b>N.</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>TITULO (tex)</b>	<b>F CARGA RUP (cN)</b>	<b>X (mm)</b>	<b>TENACIDAD (cN/tex)</b>	<b>ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%)</b>
1	0,0007	2,333	62,500	0,358	26,786	0,072
2	0,0004	1,333	38,750	1,227	29,063	0,245
3	0,0010	3,333	51,300	2,645	15,390	0,529
4	0,0007	2,333	46,250	5,392	19,821	1,078
5	0,0005	1,667	47,500	1,262	28,500	0,252
6	0,0006	2,000	31,250	2,051	15,625	0,410
7	0,0005	1,667	38,750	1,262	23,250	0,252
8	0,0004	1,333	37,500	0,291	28,125	0,058
9	0,0007	2,333	40,000	1,086	17,143	0,217
10	0,0008	2,667	37,500	1,305	14,063	0,261
11	0,0004	1,333	38,750	0,662	29,063	0,132
12	0,0012	4,000	85,500	0,987	21,375	0,197
13	0,0006	2,000	31,250	0,689	15,625	0,138
14	0,0007	2,333	23,750	0,447	10,179	0,089
15	0,0005	1,667	38,000	0,926	22,800	0,185
16	0,0006	2,000	48,250	1,109	24,125	0,222
17	0,0006	2,000	43,750	1,171	21,875	0,234
18	0,0004	1,333	29,000	0,331	21,750	0,066
19	0,0007	2,333	51,250	0,763	21,964	0,153
20	0,0010	3,333	75,000	2,266	22,500	0,453
21	0,0007	2,333	76,250	1,984	32,679	0,397
22	0,0005	1,667	45,000	1,161	27,000	0,232
23	0,0006	2,000	58,000	2,881	29,000	0,576
24	0,0008	2,667	75,000	1,119	28,125	0,224
25	0,0006	2,000	46,250	3,040	23,125	0,608
26	0,0005	1,667	61,250	1,176	36,750	0,235
27	0,0012	4,000	71,250	0,356	17,813	0,071
28	0,0004	1,333	27,500	0,667	20,625	0,133
29	0,0010	3,333	45,000	0,995	13,500	0,199
30	0,0009	3,000	40,000	0,916	13,333	0,183
31	0,0007	2,333	45,750	1,378	19,607	0,276
32	0,0006	2,000	32,500	1,298	16,250	0,260
33	0,0010	3,333	76,500	1,348	22,950	0,270
34	0,0008	2,667	48,250	1,196	18,094	0,239
35	0,0004	1,333	30,500	0,763	22,875	0,153
<b>PROMEDIO</b>	0,0007	2,257	47,851	1,351	22,021	0,266

<b>DESV. STAN</b>	0,0002	0,750	16,043	0,984	6,022	0,197
<b>COEF VAR.</b>	33,232	33,232	33,528	72,835	27,344	74,043

**Tabla II. 4.** Ensayo de tensión de la fibra de ramio con fertilizante cosechada a los 45 días

<b>N.</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>TITULO (tex)</b>	<b>F CARGA RUP (cN)</b>	<b>X (mm)</b>	<b>TENACIDAD (cN/tex)</b>	<b>ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%)</b>
1	0,0007	2,333	72,500	1,265	31,071	0,253
2	0,0005	1,667	35,000	1,404	21,000	0,281
3	0,0008	2,667	80,000	1,504	30,000	0,301
4	0,0009	3,000	89,750	1,390	29,917	0,278
5	0,0009	3,000	68,750	1,002	22,917	0,200
6	0,0011	3,667	88,750	1,299	24,205	0,260
7	0,0007	2,333	65,000	1,611	27,857	0,322
8	0,0010	3,333	78,250	1,532	23,475	0,306
9	0,0008	2,667	77,500	1,911	29,063	0,382
10	0,0007	2,333	38,750	1,149	16,607	0,230
11	0,0008	2,667	25,000	0,531	9,375	0,106
12	0,0005	1,667	32,500	0,524	19,500	0,105
13	0,0011	3,667	57,500	1,700	15,682	0,340
14	0,0006	2,000	78,500	0,741	39,250	0,148
15	0,0005	1,667	68,750	1,873	41,250	0,375
16	0,0008	2,667	50,000	0,984	18,750	0,197
17	0,0004	1,333	26,250	0,318	19,688	0,064
18	0,0012	4,000	83,500	2,095	20,875	0,419
19	0,0008	2,667	47,500	0,631	17,813	0,126
20	0,0007	2,333	65,600	1,838	28,114	0,368
21	0,0005	1,667	48,000	1,036	28,800	0,207
22	0,0010	3,333	55,000	2,762	16,500	0,552
23	0,0007	2,333	35,000	0,924	15,000	0,185
24	0,0006	2,000	85,000	3,430	42,500	0,686
25	0,0004	1,333	25,000	1,282	18,750	0,256
26	0,0008	2,667	45,000	1,580	16,875	0,316
27	0,0013	4,333	86,250	2,280	19,904	0,456
28	0,0010	3,333	38,750	1,201	11,625	0,240
29	0,0005	1,667	45,500	0,279	27,300	0,056
30	0,0005	1,667	40,000	2,690	24,000	0,538
31	0,0008	2,667	76,367	1,874	28,638	0,375
32	0,0006	2,000	38,500	0,286	19,250	0,057
33	0,0009	3,000	82,250	1,657	27,417	0,331
34	0,0004	1,333	65,250	2,957	48,938	0,591
35	0,0007	2,333	79,000	2,690	33,857	0,538
<b>PROMEDIO</b>	0,0007	2,495	59,263	1,492	24,736	0,298

<b>DESV. STAN</b>	0,0002	0,777	20,783	0,784	8,893	0,157
<b>COEF. VAR</b>	31,139	31,139	35,068	52,549	35,951	52,549

**Tabla II.5.** Ensayo de tensión de la fibra de ramio con fertilizante cosechada a los 60 días

<b>N.</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>TITULO (tex)</b>	<b>F CARGA RUP (cN)</b>	<b>X (mm)</b>	<b>TENACIDAD (cN/tex)</b>	<b>ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%)</b>
1	0,0006	2,000	47,500	1,513	23,750	0,303
2	0,0005	1,667	41,250	0,728	24,750	0,146
3	0,0006	2,000	52,500	1,441	26,250	0,288
4	0,0008	2,667	51,250	1,304	19,219	0,261
5	0,0007	2,333	45,000	1,862	19,286	0,372
6	0,0009	3,000	78,750	1,599	26,250	0,320
7	0,0005	1,667	38,750	1,275	23,250	0,255
8	0,0005	1,667	37,500	2,116	22,500	0,423
9	0,0005	1,667	27,500	1,321	16,500	0,264
10	0,0007	2,333	50,000	1,486	21,429	0,297
11	0,0004	1,333	26,250	1,778	19,688	0,356
12	0,0004	1,333	30,250	1,602	22,688	0,320
13	0,0009	3,000	67,500	1,599	22,500	0,320
14	0,0006	2,000	75,750	2,050	37,875	0,410
15	0,0005	1,667	37,750	1,086	22,650	0,217
16	0,0010	3,333	62,500	1,487	18,750	0,297
17	0,0005	1,667	27,500	0,730	16,500	0,146
18	0,0010	3,333	81,250	1,183	24,375	0,237
19	0,0004	1,333	35,000	1,356	26,250	0,271
20	0,0006	2,000	80,000	1,718	40,000	0,344
21	0,0008	2,667	71,250	1,150	26,719	0,230
22	0,0008	2,667	75,000	1,753	28,125	0,351
23	0,0005	1,667	37,500	0,144	22,500	0,029
24	0,0009	3,000	69,750	0,176	23,250	0,035
25	0,0004	1,333	23,750	1,209	17,813	0,242
26	0,0005	1,667	37,500	2,754	22,500	0,551
27	0,0006	2,000	46,250	2,608	23,125	0,522
28	0,0008	2,667	50,750	2,419	14,063	0,484
29	0,0009	3,000	76,250	1,526	23,250	0,305
30	0,0007	2,333	38,750	3,028	16,607	0,606
31	0,0006	2,000	40,500	0,964	20,250	0,193
32	0,0009	3,000	59,000	1,387	19,667	0,277
33	0,0010	3,333	70,500	1,289	21,150	0,258
34	0,0011	3,667	88,250	1,639	24,068	0,328
35	0,0009	3,000	57,000	1,452	12,917	0,290
<b>PROMEDIO</b>	0,0007	2,286	52,450	1,507	22,585	0,301

<b>DESV. STAN</b>	0,0002	0,687	18,598	0,613	5,422	0,123
<b>COEF. VAR</b>	30,042	30,042	35,459	40,697	24,008	40,697

**Tabla II.6.** Ensayo de tensión de la fibra de ramio con fertilizante cosechada a los 75 días

<b>N.</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>TITULO (tex)</b>	<b>F CARGA RUP (cN)</b>	<b>X (mm)</b>	<b>TENACIDAD (cN/tex)</b>	<b>ELONGACIÓN A LA RUPTURA (%)</b>
1	0,0007	2,333	72,500	1,265	31,071	0,253
2	0,0005	1,667	35,000	1,404	21,000	0,281
3	0,0008	2,667	80,000	1,504	30,000	0,301
4	0,0009	3,000	89,750	1,390	29,917	0,278
5	0,0009	3,000	68,750	1,002	22,917	0,200
6	0,0011	3,667	88,750	1,299	24,205	0,260
7	0,0007	2,333	65,000	1,611	27,857	0,322
8	0,0010	3,333	78,250	1,532	23,475	0,306
9	0,0008	2,667	77,500	1,911	29,063	0,382
10	0,0007	2,333	38,750	1,149	16,607	0,230
11	0,0008	2,667	25,000	0,531	9,375	0,106
12	0,0005	1,667	32,500	0,524	19,500	0,105
13	0,0011	3,667	57,500	1,700	15,682	0,340
14	0,0006	2,000	78,500	0,741	39,250	0,148
15	0,0005	1,667	68,750	1,873	41,250	0,375
16	0,0008	2,667	50,000	0,984	18,750	0,197
17	0,0004	1,333	26,250	0,318	19,688	0,064
18	0,0012	4,000	83,500	2,095	20,875	0,419
19	0,0008	2,667	47,500	0,631	17,813	0,126
20	0,0007	2,333	65,600	1,838	28,114	0,368
21	0,0005	1,667	48,000	1,036	28,800	0,207
22	0,0010	3,333	55,000	2,762	16,500	0,552
23	0,0007	2,333	35,000	0,924	15,000	0,185
24	0,0006	2,000	85,000	3,430	42,500	0,686
25	0,0004	1,333	25,000	1,282	18,750	0,256
26	0,0008	2,667	45,000	1,580	16,875	0,316
27	0,0013	4,333	86,250	2,280	19,904	0,456
28	0,0010	3,333	38,750	1,201	11,625	0,240
29	0,0005	1,667	45,500	0,279	27,300	0,056
30	0,0005	1,667	40,000	2,690	24,000	0,538
31	0,0008	2,667	76,367	1,874	28,638	0,375
32	0,0006	2,000	38,500	0,286	19,250	0,057
33	0,0009	3,000	82,250	1,657	27,417	0,331
34	0,0004	1,333	65,250	2,957	48,938	0,591
35	0,0007	2,333	79,000	2,690	33,857	0,538
<b>PROMEDIO</b>	0,0007	2,495	59,263	1,492	24,736	0,298

<b>DESV. STAN</b>	0,0002	0,777	20,783	0,784	8,893	0,157
<b>COEF. VAR</b>	31,139	31,139	35,068	52,549	35,951	52,549

**ANEXO III. Análisis estadístico de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de ramio con y sin fertilizante**

**Tabla III.1.** Análisis estadístico del título de la fibra de ramio sin fertilizante

RESUMEN DEL ANOVA	
<b>ESTIMADO DE VARIANZA</b>	
Entre los grupos	4,29
Dentro de los grupos	53,54
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	
Entre los grupos	2,00
Dentro de los grupos	102,00
<b>TOTAL</b>	104,00
<b>Valor de F</b>	4,08
<b>Valor crítico para F</b>	3,08
<b>Probabilidad P</b>	0,02
<b>Nivel de significancia</b>	0,05

INTERVALO DE CONFIANZA DEL TÍTULO				
GRUPO	Promedio (cN/Tex)	Varianza	Límite inferior (cN/Tex)	Límite superior (cN/Tex)
45 Días	2,70	0,34	2,52	2,86
60 Días	2,68	0,67	2,50	2,84
75 Días	2,26	0,56	2,08	2,42
<b>Intervalo de confianza del título: <math>\pm 0,12</math> (Tex)</b>				

Combinaciones entre grupos	Valor absoluto de la diferencia de los títulos promedio	Comparación con LSD	Diferencia estadística
45 días - 60 días	0,01	< LSD	No
45 días - 75 días	0,43	< LSD	No
60 días - 75 días	0,41	> LSD	Sí
LSD = 0,34			



**Tabla III.2.** Análisis estadístico del título de la fibra de ramio con fertilizante

RESUMEN DEL ANOVA	
<b>ESTIMADO DE VARIANZA</b>	
Entre los grupos	2,31
Dentro de los grupos	58,15
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	
Entre los grupos	2,00
Dentro de los grupos	102,00
<b>TOTAL</b>	104,00
<b>Valor de F</b>	2,02
<b>Valor crítico para F</b>	3,08
<b>Probabilidad P</b>	0,13
<b>Nivel de significancia</b>	0,05

INTERVALO DE CONFIANZA DEL TÍTULO				
GRUPO	Promedio (cN/Tex)	Varianza	Límite inferior (cN/Tex)	Límite superior (cN/Tex)
45 Días	2,13	0,64	1,95	2,31
60 Días	2,29	0,47	2,10	2,46
75 Días	2,50	0,60	2,31	2,67
<b>Intervalo de confianza del título: <math>\pm 0,12</math> (Tex)</b>				

Combinaciones entre grupos	Valor absoluto de la diferencia de los títulos promedio	Comparación con LSD	Diferencia estadística
45 días - 60 días	0,15	< LSD	No
45 días - 75 días	0,36	> LSD	Sí
60 días - 75 días	0,20	< LSD	No
<b>LSD = 0,35</b>			

**Tabla III.3.** Análisis estadístico de la tenacidad de la fibra de ramio sin fertilizante

RESUMEN DEL ANOVA		INTERVALO DE CONFIANZA DE LA TENACIDAD			
<b>ESTIMADO DE VARIANZA</b>		<b>Promedio (cN/Tex)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Límite inferior (cN/Tex)</b>	<b>Límite superior (cN/Tex)</b>
Entre los grupos	297,14	17,90	32,48	16,52	19,27
Dentro de los grupos	3428,23	19,93	32,10	18,55	21,30
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>		22,02	36,26	20,64	23,39
Entre los grupos	2,00	<b>Intervalo de confianza de la tenacidad: <math>\pm 0,97</math> (cN/Tex)</b>			
Dentro de los grupos	102,00				
<b>TOTAL</b>	<b>104,00</b>				
<b>Valor de F</b>	<b>4,42</b>	<b>Valor absoluto de la diferencia de las Tenacidades promedio</b>		<b>Comparación con LSD</b>	<b>Diferencia estadística</b>
<b>Valor crítico para F</b>	<b>3,08</b>	2,03		< LSD	No
<b>Probabilidad P</b>	<b>0,01</b>	4,12		> LSD	Sí
<b>Nivel de significancia</b>	<b>0,05</b>	2,08		< LSD	No
		LSD=2,74			

**Tabla III.4.** Análisis estadístico de la tenacidad de la fibra de ramio con fertilizante

RESUMEN DEL ANOVA	
<b>ESTIMADO DE VARIANZA</b>	
Entre los grupos	577,87
Dentro de los grupos	6229,48
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	
Entre los grupos	2,00
Dentro de los grupos	102,00
<b>TOTAL</b>	104,00

<b>Valor de F</b>	4,73
<b>Valor crítico para F</b>	3,08
<b>Probabilidad P</b>	0,01
<b>Nivel de significancia</b>	0,05

INTERVALO DE CONFIANZA DE LA TENACIDAD				
GRUPO	Promedio (cN/Tex)	Varianza	Límite inferior (cN/Tex)	Límite superior (cN/Tex)
45 Días	19,05	74,74	17,192	20,898
60 Días	22,58	29,40	20,73	24,43
75 Días	24,74	79,08	22,88	26,58
Intervalo de confianza de la tenacidad: $\pm 1,32$ (cN/Tex)				

Combinaciones entre grupos	Valor absoluto de la diferencia de las Tenacidades promedio	Comparación con LSD	Diferencia estadística
45 días - 60 días	3,53	< LSD	No
45 días - 75 días	5,69	> LSD	Si
60 días - 75 días	2,15	< LSD	No
LSD = 3,70			

**Tabla III.5.** Análisis estadístico de la tenacidad de la fibra de ramio a los 45 días de cosecha

<b>RESUMEN DEL ANOVA</b>		<b>INTERVALO DE CONFIANZA DE LA TENACIDAD</b>				
<b>ESTIMADO DE VARIANZA</b>		<b>GRUPO</b>	<b>Promedio (cN/Tex)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Límite inferior (cN/Tex)</b>	<b>Límite superior (cN/Tex)</b>
Entre los grupos	22,93	Sin fertilizante	17,90	32,48	16,15	19,64
Dentro de los grupos	3645,29	Con fertilizante	19,05	74,74	17,29	20,79
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>		<b>Intervalo de confianza de la tenacidad: <math>\pm 1,23</math> (cN/Tex)</b>				
Entre los grupos	1,00	<b>Combinaciones entre grupos</b>		<b>Valor absoluto de la diferencia de las Tenacidades promedio</b>	<b>Comparación con LSD</b>	<b>Diferencia estadística</b>
Dentro de los grupos	68,00	Sin fert. - Con fert.	1,14	< LSD	No	
<b>TOTAL</b>	<b>69,00</b>	LSD = 3,49				
<b>Valor de F</b>	0,42					
<b>Valor crítico para F</b>	3,98					
<b>Probabilidad P</b>	0,51					
<b>Nivel de significancia</b>	0,05					

**Tabla III.6.** Análisis estadístico de la tenacidad de la fibra de ramio a los 60 días de cosecha

<b>RESUMEN DEL ANOVA</b>		<b>INTERVALO DE CONFIANZA DE LA TENACIDAD</b>			
<b>ESTIMADO DE VARIANZA</b>		<b>Promedio (cN/Tex)</b>	<b>Varianza</b>	<b>Límite inferior (cN/Tex)</b>	<b>Límite superior (cN/Tex)</b>
Entre los grupos	122,99	19,93	32,10	18,61	21,25
Dentro de los grupos	2090,86	22,58	29,40	21,26	23,90
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>		<b>Intervalo de confianza de la tenacidad: <math>\pm 0,93</math> (cN/Tex)</b>			
Entre los grupos	1,00				
Dentro de los grupos	68,00				
<b>TOTAL</b>	<b>69,00</b>				
<b>Valor de F</b>	<b>4,00</b>	<b>Valor absoluto de la diferencia de las Tenacidades promedio</b>	<b>Comparación con LSD</b>	<b>Diferencia estadística</b>	
<b>Valor crítico para F</b>	<b>3,98</b>	2,65	> LSD	Sí	
<b>Probabilidad P</b>	<b>0,04</b>	LSD = 2,64			
<b>Nivel de significancia</b>	<b>0,05</b>				

**Tabla III.7.** Análisis estadístico de la tenacidad de la fibra de ramio a los 75 días de cosecha

RESUMEN DEL ANOVA	
<b>ESTIMADO DE VARIANZA</b>	
Entre los grupos	128,96
Dentro de los grupos	3921,55
<b>GRADOS DE LIBERTAD</b>	
Entre los grupos	1,00
Dentro de los grupos	68,00
<b>TOTAL</b>	<b>69,00</b>

<b>Valor de F</b>	2,23
<b>Valor crítico para F</b>	3,98
<b>Probabilidad P</b>	0,13
<b>Nivel de significancia</b>	0,05

INTERVALO DE CONFIANZA DE LA TENACIDAD				
GRUPO	Promedio (cN/Tex)	Varianza	Límite inferior (cN/Tex)	Límite superior (cN/Tex)
Sin fertilizante	22,02	36,26	20,21	23,83
Con fertilizante	24,74	33,86	22,92	26,54
<b>Intervalo de confianza de la tenacidad: <math>\pm 1,28</math> (cN/Tex)</b>				

Combinaciones entre grupos	Valor absoluto de la diferencia de las Tenacidades promedio	Comparación con LSD	Diferencia estadística
Sin fert. - Con fert.	2,71	< LSD	No
LSD = 3,62			