

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**“ESTUDIO DE EXTRACCIÓN DE FIBRA DE FORMIO (*Phormium
tenax*) CON MÉTODOS TRADICIONALES DE DESFIBRADO”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
QUÍMICO**

VÍCTOR HUGO GUEVARA OCHOA

vhgo78@hotmail

DIRECTOR: ING. OMAR FERNANDO BONILLA HIDALGO MSc.

omar.bonilla@epn.edu.ec

Quito, Marzo 2013

© Escuela Politécnica Nacional 2013

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Guevara Ochoa Víctor Hugo, 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.

Guevara Ochoa Víctor Hugo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Guevara Ochoa Víctor Hugo, bajo mi supervisión.

Ing. Omar Bonilla
DIRECTOR DEL PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto PIS No. 025-2009 “Extracción y Caracterización de la Fibra de la Hoja de la Lengua de Suegra”, que se ejecutó en el Centro Textil Politécnico del Departamento de Ingeniería Química.

AGRADECIMIENTOS

Una vez cumplido el objetivo, es decir, una vez que este proyecto ha llegado a su fin, debo simplemente dar gracias a todas y cada una de las personas que mantuvieron viva la esperanza y que de una u otra manera colaboraron en su realización.

A mis padres Silvia Rosario y Luis Homero, quienes supieron guiarme en el sendero que se destinó para nosotros. Por su férrea voluntad, comprensión y sobre todo por su gran paciencia.

A mis hermanos, Luisa, Oswaldo, Pedro, Luis, Nelson y Rodrigo, quienes han sido los que me ayudaron a evolucionar como persona y a entender las diferencias que cada persona tiene respecto a otra. Gracias por todos los años compartidos entre juegos y “peleas” que nos llevaron a ser quienes somos.

A mis Abuelos (*Quienes se encuentra en un sendero distinto al nuestro*), tíos y tías, quienes junto a mis padres nos guiaron y formaron como personas. A mis primos, primas, sobrinos y sobrina por los años y vivencias compartidas.

A mis amigas y amigos, con quienes empezamos el camino de la Ingeniería Química, Xime, Lucho, Soraya, Marlon, Ruth, Oscar, Kathe, Rubén, Pierina. A los que nos dieron alcance, Patricio, Fernanda, Daniel, Mireya, Eddy, Doris, Juan Pa, Cristina Daniel, Rommel. A los “veteranos” y jugadores, Carlos, Romel, Ramiro, Mauricio, Juan, Juan Carlos, Andrés, Edison, Pablo V., Darío, Rubén, D. Enrique, D. Arturo, David, Cristian, Pablo M., Juan P. A los que se mantienen en el sendero, Sebastián, Dennis, Raúl, Carlos, karlita. A aquellos que por falta de memoria más que de espacio no les he nombrado, a todos y todas gracias por las enseñanzas y las vivencias compartidas.

A los profesores que de una u otra manera nos instruyeron mientras transitamos por el sendero de la Ingeniería Química. A los que nos acompañaron y guiaron en las distintas etapas de este camino, gracias por su guía y por la exigencia impuesta, gracias y millón de gracias por su paciencia.

Al Centro Textil Politécnico por abrimme sus puertas y por confiarme la realización de este proyecto. A los ingenieros Omar Bonilla e Hilda Trujillo por su colaboración y guía en el transcurso de este corto periodo de tiempo, por permitirme ser parte del grupo de personas en el laboratorio y en sus actividades diarias. A Doña Carmita, un apoyo y ayuda durante la ejecución de las distintas actividades del proyecto.

Un agradecimiento corto pero especial a los trabajadores de la facultad, quienes me ayudaron con su conocimiento, herramientas y amistad en los momentos precisos para la resolución de distintos problemas.

Finalmente, *el más importante de todos los agradecimientos*, a Dios por los favores y las bendiciones recibidas. Gracias Señor por haber puesto a todas estas personas en el sendero que me encuentro recorriendo, gracias por sus enseñanzas y por su guía.

DEDICATORIA

Al esfuerzo y constancia que hacen al hombre levantarse y seguir cuando ha caído ó cuando el mismo se ha limitado...

A la eterna paciencia que todas las personas poseemos, con la que alcanzamos el final de cada camino elegido...

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	xi
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 El formio	1
1.2 Métodos de extracción tradicionales de fibras vegetales	4
1.2.1 Introducción	4
1.2.2 Extracción manual o tradicional	4
1.2.3 Extracción por enriado	5
1.2.4 Extracción por desfibrado mecánico	6
1.3 Caracterización química de fibras vegetales	8
1.3.1 Introducción	8
1.3.2 Celulosa	8
1.3.3 Lignina	9
1.3.4 Resinas, ceras y grasas	10
1.3.5 Hemicelulosas	10
1.3.6 Cenizas	11
1.4 Caracterización física y mecánica de fibras vegetales	11
1.4.1 Caracterización física	11
1.4.1.1 Título	11
1.4.1.2 Sección Transversal de fibras vegetales	12
1.4.2 Caracterización mecánica	13
1.4.2.1 Tenacidad	14
1.4.2.2 Elongación	15
2. PARTE EXPERIMENTAL	16
2.1 Consideraciones previas	16
2.2 Objetivos	17
2.2.1 Objetivo general	17
2.2.2 Objetivos específicos	17
2.3 Materiales	18
2.3.1 Materiales y reactivos	18
2.3.2 Equipos	19
2.4 Extracción manual	22
2.5 Extracción con enriado	25

2.6 Extracción mecánica por descortezado	26
2.7 Selección de un método adecuado de desfibrado	27
2.7.1 Título de las fibras	29
2.7.2 Tenacidad y elongación de las fibras	29
2.7.3 Tratamiento estadístico de datos	30
2.8 Caracterización química de las fibras extraídas con el método seleccionado	31
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1 Extracción manual	38
3.1.1 Extracción de fibras	38
3.1.2 Título de las fibras	42
3.1.3 Tenacidad de las fibras	45
3.1.4 Elongación de las fibras	49
3.2 Extracción por enriado	51
3.2.1 Enriado con machacado previo	52
3.2.1.1 Extracción de las fibras	52
3.2.1.2 Título de las fibras	55
3.2.1.3 Tenacidad de las fibras	59
3.2.1.4 Elongación de las fibras	63
3.2.2 Enriado sin machacado previo	66
3.2.2.1 Extracción de las fibras	66
3.2.2.2 Título de las fibras	71
3.2.2.3 Tenacidad de las fibras	75
3.2.2.4 Elongación de las fibras	80
3.3 Extracción mecánica por descortezado	83
3.3.1 Extracción de fibras	84
3.3.2 Propiedades de las fibras	87
3.4 Selección del método adecuado de desfibrado	92
3.5 Caracterización química de las fibras de formio	98
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
4.1 Conclusiones	100
4.2 Recomendaciones	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	107

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 2.1. Lista de los reactivos usados en la caracterización química de las fibras de formio	19
Tabla 2.2. Escala cualitativa asignada a la Facilidad de remoción del material no fibroso en los procesos de extracción de fibras de formio	28
Tabla 2.3. Escala cualitativa asignada al contenido de material no deseado en las fibras obtenidas en los procesos de extracción de las fibras de formio	28
Tabla 2.4. Escala cualitativa asignada al color de las fibras obtenidas en los procesos de extracción de las fibras de formio	28
Tabla 2.5. Criterios del Análisis de Varianzas (ANOVA) para Statgraphics	31
Tabla 3.1. Resultados de la cualificación del proceso de extracción manual	39
Tabla 3.2. Resumen de resultados de rendimiento alcanzado con el método de extracción manual de las fibras de formio	40
Tabla 3.3. Resumen de resultados del título de las fibras de formio obtenidas por el método de extracción manual	42
Tabla 3.4. Resultados del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por el proceso de extracción manual*	44
Tabla 3.5. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por extracción manual	44
Tabla 3.6. Resumen de resultados de la tenacidad de las fibras extraídas por el método de extracción manual	46
Tabla 3.7. Resultados del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual*	47
Tabla 3.8. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual	48
Tabla 3.9. Resumen de resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio extraídas por el método de extracción manual	49
Tabla 3.10. Resultados del análisis de varianzas del porcentaje de elongación las fibras de formio obtenidas por extracción manual*	50
Tabla 3.11. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por extracción manual	51
Tabla 3.12. Resultados de la cualificación del proceso de extracción por enriado con machacado previo	53
Tabla 3.13. Resumen de resultados del título de las fibras de formio extraídas por enriado con machacado previo	55
Tabla 3.14. Resultados del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo*	58
Tabla 3.15. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo	58
Tabla 3.16. Resumen de resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo en comparación con la determinada en extracción manual	60

Tabla 3.17. Resultado del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo*	62
Tabla 3.18. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo	62
Tabla 3.19. Resumen de resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio extraídas por enriado con machacado previo	63
Tabla 3.20. Resultados del análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo*	65
Tabla 3.21. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo	65
Tabla 3.22. Resultados de la cualificación del proceso de extracción por enriado sin machacado previo	69
Tabla 3.23. Resumen de los resultados obtenidos del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo	71
Tabla 3.24. Resultados del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo*	73
Tabla 3.25. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo	74
Tabla 3.26. Resumen de los resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo en comparación con la determinada en extracción manual	76
Tabla 3.27. Resultado del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado*	78
Tabla 3.28. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo	79
Tabla 3.29. Resumen de los resultados del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado	80
Tabla 3.30. Resultado del análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado*	82
Tabla 3.31. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo	82
Tabla 3.32. Resultados de la cualificación del proceso de extracción mecánica por descortezado	85
Tabla 3.33. Resumen de resultados del título de las fibras de formio obtenidas por el método de extracción mecánica por descortezado	87
Tabla 3.34. Resumen de resultados de la tenacidad de las fibras de formio extraídas por descortezado mecánico	89
Tabla 3.35. Resumen de resultados del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio extraídas por descortezado mecánico	90
Tabla 3.36. Resumen comparativo de la cualificación de los procesos de extracción usados para la obtención de las fibras de formio	92

Tabla 3.37. Resultado del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción*	93
Tabla 3.38. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción	94
Tabla 3.39. Resultado del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción*	96
Tabla 3.40. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción	96
Tabla 3.41. Resultados de la caracterización química de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico en una desfibradora de cabuya	98

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Fotografía de plantas de formio, y su disposición de abanico	2
Figura 1.2.	Formio en florecimiento, obtenida en http://jardinagemepaisagismo.com/o-formio	3
Figura 1.3.	Extracción tradicional de las fibras de formio	3
Figura 1.4.	Raspado de Pita en el proceso de extracción de sus fibras	5
Figura 1.5.	Esquema de los tipos de desfibradoras	7
Figura 1.6.	Vista de la sección transversal de una hoja de formio, en donde; a , epidermis superior; b , parénquima; c , parénquima esponjoso; d , paquete superior de fibras; e , paquete inferior de fibras; f , tejido vascular; f₁ , xilema; f₂ , floema; g , paquete inferior de fibras; h , epidermis inferior; i , células envolventes de paquete de fibras	13
Figura 2.1.	Foto del proceso de cosecha descrito por Harris y Woodcock-Sharp (2000) y Brescia (1969)	18
Figura 2.2.	Foto de la carda usada en los procesos de extracción manual y por enriado de las fibras contenidas en las hojas de formio	20
Figura 2.3.	Foto de la descortezadora de cabuya usada en la extracción mecánica de las fibras contenidas en las hojas de formio	20
Figura 2.4.	Esquema de las partes de la hoja de formio, retiradas para la extracción de las fibras	23
Figura 2.5.	Foto de una hoja de formio después de retirar la quilla y la base de la hoja	23
Figura 2.6.	Foto de los seis segmentos obtenidos de una hoja de formio para proceder a la extracción manual de la fibra	24
Figura 2.7.	Foto del proceso de extracción manual realizado con carda	24
Figura 2.8.	Esquema del proceso de enriado en estanque de las hojas de formio	25
Figura 2.9.	Foto de la desfibradora de cabuya con la separación paletas-mesa de 0,30 mm	27
Figura 2.10.	Foto de la separación inicial de las mordazas en la máquina de ensayos universales para determinar las propiedades mecánicas de las fibras de formio	30
Figura 3.1.	Foto de capa formada en la superficie de la hoja de formio	39
Figura 3.2.	Foto de las fibras obtenidas de tres segmentos de una hoja de formio	41
Figura 3.3.	Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas por extracción manual para seis días diferentes	43
Figura 3.4.	Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual para seis diferentes días	47
Figura 3.5.	Diagrama de cajas del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas con el método de extracción manual	50
Figura 3.6.	Foto de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo	54

Figura 3.7.	Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas en el estudio del proceso de enriado con machacado previo	57
Figura 3.8.	Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas con el proceso de enriado con machacado previo	61
Figura 3.9.	Diagrama de cajas del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo	64
Figura 3.10.	Foto de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo	70
Figura 3.11.	Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo	72
Figura 3.12.	Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado	77
Figura 3.13.	Diagrama de cajas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado	81
Figura 3.14.	Esquema de la separación de la mesa y paletas usada en la extracción mecánica de las fibras de formio	84
Figura 3.15.	Fotografía de las fibras de formio obtenidas por descortezado (inferior) en contraste con las fibras extraídas con el proceso de enriado sin machacado	86
Figura 3.16.	Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas por extracción mecánica por descortezado	88
Figura 3.17.	Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico	90
Figura 3.18.	Diagrama de cajas del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico	91
Figura 3.19.	Diagrama de cajas del título de las fibras de formio para las muestras óptimas de cada proceso de extracción	94
Figura 3.20.	Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio para las muestras óptimas de cada proceso de extracción	97

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Resultados de la caracterización inicial de las hojas de formio y rendimientos alcanzados por hoja	108
ANEXO II	
Propiedades encontradas en las fibras de formio obtenidas con los diferentes procesos de extracción	111
ANEXO III	
Resultados del análisis de grupos homogéneos por el método de mínima diferencia significativa de Fisher con 95% de Nivel de Confianza (Statgraphics)	132

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio de tres procesos tradicionales de extracción de fibras vegetales orientados a la obtención de las fibras de formio (*Phormium tenax*): extracción manual, por enriado y descortezado mecánico.

El proceso de extracción manual, se realizó con una carda mediante raspado de las hojas.

El proceso de enriado se estudio con dos variantes, en la primera, las hojas fueron golpeadas antes de ser introducidas en el baño y se las retiro a partir del día 5. En la segunda, las hojas se sumergieron directamente en el baño y se las extrajo luego del día 13. En ambos casos, las hojas se recogieron del baño a intervalos de dos días y se rasparon con una carda.

Finalmente, las hojas fueron sometidas a descortezado mecánico, para lo que se realizaron modificaciones a una desfibradora de cabuya. Se probó con diferentes separaciones entre la mesa y las paletas y distintas formas de alimentar las hojas. En todos los métodos, las propiedades físicas (título) y mecánicas (tenacidad y porcentaje de elongación) de las fibras fueron determinadas y sometidas a un análisis estadístico.

En el proceso de extracción manual se encontró que el cardado se dificulta con el paso de los días luego de la cosecha y que se lo debe realizar por la cara posterior de la hoja. Las fibras presentaron alto contenido de materia no deseada y color verde. En los procesos de enriado, la remoción del material no fibroso se facilita con el aumento del tiempo de enriado. Las fibras presentaron materia no deseada y su color varió de tonos verdes a amarillos.

El proceso de descortezado facilita la remoción del material no fibroso cuando la separación entre la mesa y las paletas es de 0,30 mm y si las hojas son alimentadas desde la base a la punta por la cara posterior. Las fibras tuvieron materia no deseada despreciable y color blanco.

Se encontró que las propiedades de las fibras varían según el proceso de extracción. El título de las fibras fluctuó entre 2,0 y 55,0 Tex, en forma general, pero las fibras producto de descortezado mecánico son las que presentaron menor variación, ya que estas oscilaron entre 2,5 y 13,3 Tex.

La tenacidad tuvo valores entre 4,5 y 160,0 cN/Tex aproximadamente, sin embargo, en el proceso de enriado sin machacado, se encontró que esta propiedad se incrementa conforme avanzan los días de permanencia en el interior del baño de enriado, esto ocurrió hasta el día 18 manteniéndose hasta el día 27.

Después de comparar los resultados obtenidos con cada método de extracción, se estableció como método de desfibrado el descortezado mecánico, debido a que con éste se obtuvieron las fibras con menor contenido de material no fibroso y de color blanco. Adicionalmente, éstas junto con las obtenidas con el proceso de enriado sin machacado presentan valores de tenacidad de 40,0 cN/Tex, aproximadamente, valores que fueron los más altos encontrados para los procesos de extracción estudiados.

En la caracterización química de las fibras extraídas por descortezado mecánico, se encontró que éstas contienen 64,02% de celulosa, 10,52% de lignina, 16,49% de pentosanas y 10,58% de humedad inicial.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria mundial esta reorientándose al uso de materiales amigables con el medio ambiente, debido a que su cuidado se ha convertido en una prioridad a nivel mundial. Las fibras naturales, por su biodegradabilidad, son amigables con el medio ambiente, razón por la que la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), dedicó el año 2009 a incentivar y promover su cultivo, uso y comercialización. En el Ecuador existe una gran variedad de plantas, de las que pueden extraerse fibras para aprovecharlas en procesos de hilado y tejeduría, además de otros como papeleros (Acosta, 1952) y en elaboración de materiales compuestos (Santulli, Jeronimidis, De Rosa y Sarasini, 2009). El formio es una de las plantas que en la actualidad no se está aprovechando con estos fines, únicamente se la está usando en forma ornamental.

La comercialización de productos elaborados con fibras naturales ha crecido ostensiblemente. Se pueden encontrar ofertas de varios productos en sitios web a nivel mundial, en los que ofrecen telas, hilos, pulseras y otros adornos elaborados en yute, cáñamo, bambú entre otras fibras. En el país es necesario establecer procedimientos adecuados que permitan su cultivo, uso, transformación y comercialización, en miras de generar fuentes de trabajo, para con ello fortalecer la economía nacional.

Los procesos de desfibrado tradicionales se han usado por muchos años para obtener fibras vegetales, con este trabajo se busca establecer cuál de los métodos tradicionales sería el más adecuado para el procesamiento de las hojas de formio. El estudio de los diferentes procesos de extracción permitirá conocer su influencia en las propiedades de las fibras, lo que permitirá desarrollar aplicaciones para esta fibra.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 EL FORMIO

El formio es una planta perenne originaria de Nueva Zelanda. Existen más de cincuenta variedades de este tipo de arbusto, pero los botánicos reconocen únicamente dos, *Phormium tenax* y *Phormium cookianum (colensoi)*, conocidos como lino de Nueva Zelanda y lino montaños de Nueva Zelanda, respectivamente. Mientras, los nativos de la región distinguen algunas de las variedades y las escogen de acuerdo a los usos que les quieran dar a las fibras extraídas de ellas (Harris y Woodcock-Sharp, 2000, p.469; Lowe *et. al*, 2009, p. 121).

Esta planta pertenece a la familia *Agavaceae*, al igual que el sisal mexicano (*Agave sisalana*), aunque fue clasificada entre las *Liliáceas* por los primeros botánicos. Sus hojas son alargadas y terminan en una punta tipo espada. Las hojas tienen longitudes entre 1 y 4 m, para la variedad *Phormium tenax*, y de hasta 2 m para la variedad *Cookianum*. Su ancho varía entre 3 y 13 cm. El arbusto desarrollado llega a medir 2 m de diámetro. Sus hojas se disponen en abanico y son de color verde oscuro con márgenes y la nervadura de color rojizo (Bianco, Krans y Vegetti 2004, p. 175; Brescia, 1969, p. 248; Harris y Woodcock-Sharp, 2000, p. 496), como se observa en la figura 1.1.

El cultivo de esta planta se lo puede realizar en casi todos los tipos de suelo, pero se adapta mejor en suelos profundos de humedad moderada. Las plantas se desarrollan sin dificultades hasta los 1 200 msnm, con temperaturas promedio de 18°C aproximadamente y precipitaciones entre 500 y 3 800 mm de agua. En una hectárea se pueden plantar aproximadamente 3 500 arbustos, es aconsejable mantener una separación de 1 m entre plantas y 2 m entre líneas para garantizar un buen desarrollo de cada arbusto. La cosecha de las hojas se recomienda realizarla cada 4 años, ya que periodos menores tienden a reducir el tamaño de las hojas (Brescia, 1969, p. 249; Critchfield, 1951, p.172; Harris y Woodcock-Sharp, 2000, p. 469).



Figura 1.1. Fotografía de plantas de formio, y su disposición de abanico

Cuando han alcanzado una edad entre 5 y 7 años, en la parte central del abanico brota un tallo que llega a 4 m de longitud, en el que aparecen las flores de esta planta. Estas son numerosas y de color amarillo rojizas, tal como, se aprecia en la figura 1.2 (Brescia, 1969, p. 248).

En lo referente a las fibras contenidas en las hojas de esta planta, estas son blancas y lustrosas. Se encuentran dispuestas a lo largo de la hoja y pueden llegar a medir hasta 2 m, están constituidas por fibrillas de hasta 60 mm de longitud. El diámetro de las fibrillas varía entre 10 y 20 micrómetros (Brescia, 1969, p. 248; Carr, Cruthers, Laing y Niven, 2005, p. 94).

Las fibras están compuestas básicamente de materiales lignocelulósicos. Se han reportado valores entre el 55 y 65% del contenido de celulosa en estas fibras, mientras el contenido de lignina varía entre 10 y 12%, razón por la que se considera que estas fibras serían de buena utilidad en la industria papelera en la elaboración de pulpa de papel fino. Su rendimiento varía entre 10 y 15% en peso de la fibra, respecto del peso de la hoja verde, según lo exponen varios autores (Acosta, 1952, p. 38; Brescia, 1969, p. 248; Carr *et. al*, 2005, p. 93).



Figura 1.2. Formio en florecimiento, obtenida en <http://jardinagemepaisagismo.com/o-formio>

Las fibras de esta planta se obtenían por medio de procesos ancestrales de los nativos de la zona de Nueva Zelanda. Este proceso consistía en el desprendimiento de la corteza de las hojas con una concha, como se observa en la figura 1.3, para luego lavar las fibras de modo que se elimine el material no fibroso presente, finalmente las fibras obtenidas se colgaban a la intemperie para su secado natural (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Harris y Woodcock-Sharp, 2000, p. 469).



Figura 1.3. Extracción tradicional de las fibras de formio (Scheele, 2005, p. 23)

1.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN TRADICIONALES DE FIBRAS VEGETALES

1.2.1 INTRODUCCIÓN

Las fibras vegetales son finas estructuras compuestas mayoritariamente de celulosa y lignina. Se encuentran en tallos y hojas de las plantas formando el sistema vascular. Existen otras provenientes de semillas como el caso de algodón. Las fibras vegetales han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la humanidad, debido a que con ellas se han elaborado varios artículos de uso cotidiano como; alfombras, cuerdas, cestas, vestidos, entre otros (Bianco *et. al*, 2004, p. 174; Harris y Woodcock-Sharp, 2000, p. 469; Parra, Del Villar y Prieto, 2010, p. 77).

Las fibras vegetales se clasifican en: blandas o suaves, si provienen del tallo de las plantas, como el lino o el bambú; duras cuando han sido extraídas de las hojas, como es el caso de la cabuya, abacá y el formio (Bianco *et. al*, 2004, p. 174; Mishra, 2005, p. 5).

Las formas de obtener estas fibras han evolucionado con las necesidades del hombre. En tiempos ancestrales se limitaba a trabajos manuales, hoy conocidos como métodos ancestrales o rústicos. Luego aparecieron el enriado y el descortezado mecánico, procesos con los que se aceleró la producción e industrialización de este tipo de fibras (Critchfield, 1951, p. 172; García, 1999, p. 24; Harris y Woodcock-Sharp, 2000, p. 469).

1.2.2 EXTRACCIÓN MANUAL O TRADICIONAL

Existen varias formas para la ejecución de este proceso, una de ellas consiste en golpear las hojas con piedras, de manera que el material no fibroso se ablande para separarlo de las fibras. Este proceso destruye las fibras en forma simultánea con el material no fibroso, razón por la que no es muy usado en la actualidad. Otro proceso consiste en raspar las hojas o tallos con una navaja o cuchillo, tal que, se desprenda la corteza y materiales no fibrosos que protegen las fibras,

como se realiza en la zona de Oaxaca, México durante el procesamiento de la pita (*Aechmea magdalenae*), como se muestra en la figura 1.4 (Velasco, 2005, pp. 1-10).



Figura 1.4. Raspado de Pita en el proceso de extracción de sus fibras
(Velasco, 2005, p. 3)

Un método ancestral descrito por Critchfield (1951), Harris (2000) y otros autores es el procedimiento usado por los nativos de Nueva Zelanda, el que consiste en desprender la corteza que protege las fibras con una concha, como se observó en la figura 1.3.

1.2.3 EXTRACCIÓN POR ENRIADO

Este método de extracción ha sufrido cambios en la ejecución del proceso, en un inicio, se colocaban las partes de las plantas a procesar en los ríos y se aseguraban con cuerdas atadas a estacas en las orillas de estos, de tal forma que las plantas o sus partes se descompongan por acción microbiana. De esta acción se deriva el nombre del proceso (García, 1999, p. 24).

En la actualidad, este proceso se lo realiza en forma natural o artificial. El enriado natural se realiza en estanques. Se colocan las partes a macerar en el interior del estanque y se añade agua hasta cubrir por completo el material a tratar. Este

proceso varía según la profundidad a la que se encuentren las hojas o tallos. La temperatura del agua debe ser aproximadamente 20°C, en estas condiciones las bacterias y hongos se desarrollan y provocan la descomposición de los materiales no celulósicos, principalmente las pectinas. Este proceso suele tomar entre 12 y 15 días, en ocasiones lleva tiempos mayores (García, 1999, p. 24; Mishra, 2005, p. 91; Sánchez, 1958, p. 207).

El enriado artificial, igual que el natural, se realiza en estanques o lechos artificiales, con la variante de que el agua se encuentra entre 30 y 35°C. Esto facilita el desarrollo de los microorganismos y en consecuencia acelera el proceso de descomposición de las pectinas y los demás materiales gomosos. Este proceso requiere menos tiempo que el enriado natural (García, 1999, p. 24; Sánchez, 1958, p. 207).

Adicionalmente, se tiene el enriado por método pastoral (García, 1999, p. 24; Mishra, 2005, p. 91). Este consiste en realizar la maceración por medio de la humedad del suelo. Este es un proceso demasiado lento y tóxico, los factores ambientales dañan la celulosa durante la descomposición de los compuestos no fibrosos. “También se emplean métodos biológicos de enriado basados en las fermentaciones realizadas de forma conjunta por diferentes microorganismos” (García, 1999, p. 29).

Estos procesos se han prohibido en varios lugares debido a que producen gases tóxicos como metano, amoníaco, gas sulfhídrico entre otros, como producto de la descomposición de la materia orgánica.

1.2.4 EXTRACCIÓN POR DESFIBRADO MECÁNICO

Este es un procedimiento usado generalmente para la obtención de fibras duras como la cabuya. Básicamente, el desfibrado se produce al hacer pasar las hojas o tallos a través de la máquina, en la que las fibras son separadas de los materiales que las recubren por destrucción de estos.

Existen diferentes tipos de desfibradoras mecánicas (Brescia, 1969, p. 248). La más común es la conformada por un tambor que en su superficie contiene paletas

y una barra fija. Las paletas pueden estar dispuestas en forma transversal o diagonal, como se observa en la figura 1.5.

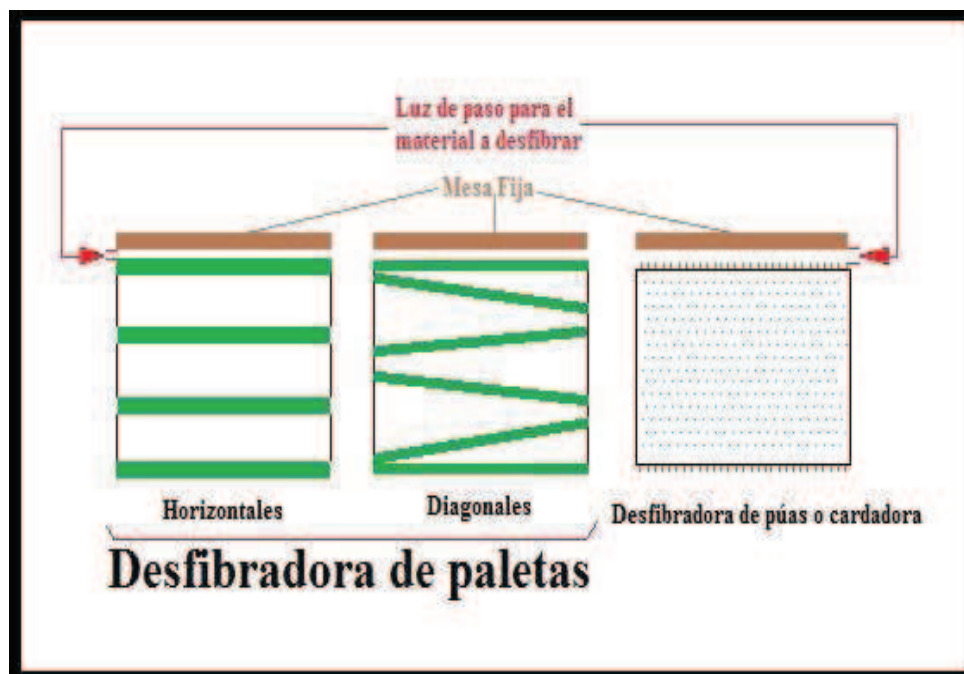


Figura 1.5. Esquema de los tipos de desfibradoras

El tambor debe girar entre 2 000 y 2 500 rpm, según lo expuesto por Critchfield (1951) y Brescia (1969). La separación entre las paletas y la barra fija, para este tipo de desfibradoras, depende del grosor de las hojas a desfibrar.

Por otra parte, existen desfibradoras que trabajan con cardas. Estas son un conjunto de púas adheridas a un tambor, como se observa en la figura 1.5. Estas desfibradoras separan las fibras de los materiales no deseados por rasgado y a su vez van ordenando y peinando las fibras (Rössel, Ortiz y Mayorga, 2003, p. 25).

También, hay desfibradoras que trabajan por trituración, es decir, las hojas se introducen entre dos rodillos con rugosidad o dentados y las hojas salen trituradas, esto facilita la separación de las fibras, con este proceso se realiza la extracción de las fibras de pita en Oaxaca, México (Brescia, 1969, p. 248; Velasco, 2005, p. 3).

1.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE FIBRAS VEGETALES

1.3.1 INTRODUCCIÓN

La caracterización química de fibras vegetales, al igual que la de otros materiales, supone establecer qué compuestos forman el material en estudio. En el caso de las fibras vegetales, se sabe que están formadas por celulosa y lignina, mayoritariamente. Su composición varía debido a varios factores, como por ejemplo, el tipo de suelo en el que se desarrollan, frecuencias de riego, periodos de fertilización, edad de las plantas, especies, entre otros factores (Castillo, Carballo, Pérez y Fernández, 2008, pp. 1-9; Honorato y Hernández, 1998, p. 79).

Adicional a la celulosa y lignina, existen otros componentes en las fibras vegetales, como resinas, ceras y grasas que dan propiedades de lustrosidad a éstas. También se encuentran pentosanas y minerales. Estos últimos son determinados como cenizas.

1.3.2 CELULOSA

La celulosa es un polímero natural constituido por azúcares, lo que lo hace un polisacárido (García, Guindeo, Peraza y De Palacios, 2003, p. 316). Su fórmula molecular es $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde "n" indica el grado de polimerización, es decir, cuan larga es la cadena de celulosa. El valor de "n" oscila entre 1 000 y 5 000, valor que decrece o incrementa significativamente con el método usado para el aislamiento de la celulosa. Se ha establecido que el aislamiento de la celulosa por nitración, es el método que degrada menos las cadenas poliméricas y se determinó que se obtienen cadenas con un grado de polimerización entre 4 000 y 5 000 aproximadamente (Casey, 1990, p. 30; Wise y Lauer, 1983, pp. 79-101).

La unidad más pequeña en una cadena de celulosa es la D-glucosa, sin embargo, la unidad constitucional repetitiva del polímero es la celobiosa. Esta es un disacárido formado por dos moléculas de D-glucosa unidas por enlace 1,4 beta-glucosídico (Collier y Tortora, 2001, p. 73; Mishra, 2005, p. 52). Al referirse a la orientación y ordenamiento de las moléculas de celulosa, varios estudios indican

que, estas poseen orientación longitudinal. Su ordenamiento varía según su procedencia, es decir, se han encontrado zonas bien empacadas u ordenadas que se asemejan a la de los cristales, razón por la que se la denominó zona cristalina (Mishra, 2005, p. 54), en el caso del algodón por ejemplo, este tiene un aproximadamente un 70% de celulosa cristalina (Collier y Tortora, 2001, p. 73). Además, se encontraron zonas en las que las cadenas se ordenan al azar, es decir, que no presentan una disposición de cristales, la cual es llamada zona no cristalina o amorfa (Morán, 2008, pp. 1-6). La zona cristalina es la responsable de la resistencia a la tensión que presentan las fibras, mientras que la disposición amorfa es la que proporciona la flexibilidad a las fibras (Casey, 1990, p. 32; Wise y Lauer, 1983, p.82).

1.3.3 LIGNINA

La lignina es, al igual que la celulosa, un polímero natural abundante entre las especies vegetales en la corteza terrestre (García *et. al*, 2003, p. 318). Se encuentra en las paredes celulares y en los espacios intercelulares de plantas vasculares, ya que estas desarrollan tejidos especializados en transporte y soporte. Si bien su estructura no se encuentra claramente definida, varios estudios han establecido que es un polímero polifenólico, es decir, que en su estructura se encuentran compuestos fenólicos, en especial fenilpropano (Casey, 1990, p. 52; Ross y Mazza, 2010, p. 4035; García *et. al*, 2003, p. 318).

Existen dos métodos que permiten aislar la lignina. Uno por medio del cual se destruyen los carbohidratos y permite la recuperación de la lignina como residuo y otro que destruye la lignina. Sin embargo, los métodos más usados son los que emplean ácidos minerales fuertes, ya que estos no destruyen completamente la lignina, únicamente alteran su estructura, y permiten su cuantificación. Para la lignina se estableció un peso molecular promedio de 11 000 g/g-mol, y basados en que el peso molecular de una unidad estructural es de 184 g/g-mol, se establece que el grado de polimerización es de 60 aproximadamente (Glennie y McCarthy, 1983, p. 115). Por otra parte, existen valores promedios del peso molecular de lignina reportados entre 1 000 y 15 000 g/g-mol. Esto se debe

exclusivamente a las diferencias en los métodos de aislamiento de la lignina (Glennie y McCarthy, 1983, p. 117; Casey, 1990, p. 55).

1.3.4 RESINAS, CERAS Y GRASAS

También conocidos como extractos de maderas. Son compuestos de bajo peso molecular presentes en las fibras, que modifican algunas de sus propiedades como color, olor y resistencia al ataque de microorganismos e insectos. Son compuestos solubles en solventes orgánicos neutros. Estos se recuperan al evaporar el solvente a sequedad. En diversos estudios se ha encontrado que existen compuestos como hidrocarburos alifáticos, aldehídos, alcoholes entre otros (Grant, 1966, p.192).

1.3.5 HEMICELULOSAS

Las hemicelulosas son un conjunto de polisacáridos presentes en las paredes celulares de los tejidos vegetales y presentan cadenas de azúcares de 50 a 300 unidades y tienen pesos moleculares mucho menores que la celulosa, además son mucho más ramificadas y son consideradas parientes cercanas de algunas gomas (García *et. al*, 2003, p. 316).

A este grupo de compuestos pertenecen los llamados pentosanos, estos se encuentran formados por pentosas cuya mayor representante es la xilosa. En ocasiones se encuentran presentes unidades de mannososa, glucosa, galactosa y arabinosa (García *et. al*, 2003, p. 316). Los pentosanos tienen propiedades adherentes con las que envuelven y enlazan a la celulosa y lignina (Casey, 1990, p. 38; Grant, 1966, p. 191). Las hemicelulosas por su movilidad son capaces de contribuir en el incremento de enlaces puente de hidrógeno al unir sus grupos hidroxílicos con los de las cadenas de celulosa, y así favorecen la resistencia a la tensión (Casey, 1991, p. 168).

1.3.6 CENIZAS

Las cenizas son residuos obtenidos una vez que se finaliza un proceso de calcinación a temperaturas aproximadas de $590 \pm 15^{\circ}\text{C}$. Estas están constituidas por minerales de calcio, fósforo, magnesio entre otros, que son necesarios para la formación y desarrollo de las plantas. Además se encargan de regular las cargas electrostáticas, las mismas que permiten la absorción y fijación de los colorantes en los procesos de teñido (Grant, 1966, pp. 62, 452-455).

1.4 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE FIBRAS VEGETALES

Las propiedades tanto físicas como mecánicas de las fibras son de suma importancia en el sector industrial, ya que su conocimiento permite establecer las posibles aplicaciones de las fibras (Mishra, 2005, p. 92). Por ejemplo, en la industria textil una de las propiedades con mayor importancia es el título de las fibras, ya que indica que tan gruesas son éstas y así prever las dificultades durante los procesos de hilado (Collier y Tortora, 2001, p. 73).

1.4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Caracterizar físicamente las fibras, no es otra cosa que determinar sus dimensiones como longitud, diámetro y la forma de su sección transversal (Jewel, 2009), si bien su sección transversal mantiene su forma, sus dimensiones varían en toda su longitud (Collier y Tortora, 2001, p. 72). Una propiedad que permite saber que tan gruesas son las fibras es el título, el que es una relación entre su peso y longitud (Tortora y Merkel, 2000, p. 642).

1.4.1.1 Título

Las dimensiones de las fibras naturales no son constantes, ni siquiera en una misma fibra, mucho menos en un conjunto de ellas. El título es una magnitud que

engloba las diferentes dimensiones de las fibras en una sola. El título es un número que indica el peso de fibra por unidad de longitud de esta o la longitud por unidad de masa de fibra (Jewel, 2009, p. 23; Tortora y Merkel, 2000, p. 642).

Existen dos métodos para determinar esta propiedad, los métodos directos y los indirectos. Los métodos directos son aquellos en los que se pesan fibras de longitudes conocidas y con estos valores se llega al valor del título o densidad lineal. Mientras que en los métodos indirectos se miden la longitud de fibras de pesos similares o iguales (Jewel, 2009, pp. 23, 24; Collier y Tortora, 2001, p. 244; Tortora y Merkel, 2000, p. 642).

Según lo expuesto por Jewel (2009), el título o densidad lineal se calcula con la ecuación 1.1 expresada a continuación:

$$N = \frac{W * l}{L} \quad [1.1]$$

En donde:

N: Título de la fibra o hilo (Tex; Denier)

W: Peso de la fibra o hilo (g)

l: Depende de la unidad que se utilice; por ejemplo, *l* es 1 000 m si la unidad es Tex y 9 000 m si la unidad es Denier

L: Longitud de la fibra o hilo (m), de la cual se desea conocer el título

1.4.1.2 Sección Transversal de fibras vegetales

La forma de la sección transversal de las fibras vegetales se determina por microscopía, generalmente óptica (Jewel, 2009, p. 89). La forma de la sección transversal puede observarse directamente en las hojas o tallos que las contienen, para lo que se realiza un fino corte transversal. Sin embargo, es

posible establecer la forma de la sección transversal de las fibras, al realizar un corte transversal a un conjunto de estas, como en el caso del algodón (Jewel, 2009, p. 90; Lewin, 2007, p. 477). En la figura 1.6 se observa la sección transversal de la hoja de formio, en donde, la sección marcada con “d” es un paquete de fibras y se encuentra ampliada en la parte derecha de la figura.

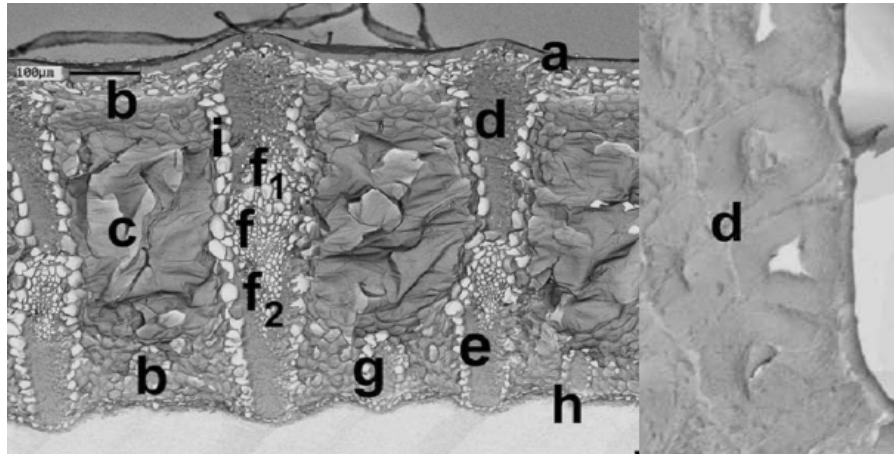


Figura 1.6. Vista de la sección transversal de una hoja de formio, en donde; **a**, epidermis superior; **b**, parénquima; **c**, parénquima esponjoso; **d**, paquete superior de fibras; **e**, paquete inferior de fibras; **f**, tejido vascular; **f₁**, xilema; **f₂**, floema; **g**, paquete inferior de fibras; **h**, epidermis inferior; **i**, células envolventes de paquete de fibras

(King, 2003, p. 574)

Por otro lado, existen nuevas técnicas de microscopía que permiten establecer no sólo la forma de la sección transversal de diversos materiales, sino sus configuraciones estructurales, como en el caso de la Microscopía Electrónica de Barrido, la que permite observar con claridad diferentes niveles estructurales como lo expone King (2003).

1.4.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica de las fibras ayuda a prever su comportamiento ante los posibles esfuerzos a los que el material pudiera ser sometido durante su vida “útil”, razón por la que esta caracterización se ha convertido en parte esencial en las investigaciones de nuevos materiales. Conocer cuánto y que tan fácil se

deforma el material es uno de los factores que permiten mejorar estructuras y bajar costos de producción (Páez, 2007).

En el caso de las fibras vegetales, son de mucho interés la tenacidad y la elongación que estas presenten ante una fuerza externa, ya que estas son un indicio del comportamiento que se pudiera producir en los tejidos elaborados a partir de este tipo de fibras (Mishra, 2005, p. 92).

1.4.2.1 Tenacidad

La tenacidad de un material es la capacidad que este presenta a soportar cargas de tensión o compresión antes de alcanzar su punto de quiebre o ruptura (Tortora y Merkel, 2000, p. 568). Esta permite inferir sobre la estructura del material, debido a que mientras mayor sea ésta, mayor será el grado de cristalinidad que presente el material en su estructura (Casey, 1990, p. 33; Mishra, 2005, p. 54). Y corresponde a la razón entre la carga aplicada y el área de la sección transversal del material en estudio. Sin embargo, en el caso de las fibras vegetales, la tenacidad se calcula con base en el título de las fibras, debido a que estas no poseen una sección transversal uniforme. Entonces, para las fibras vegetales, la tenacidad es la razón entre la carga aplicada y el título o densidad lineal de las fibras (Jewel, 2009, pp. 62, 63). De lo expuesto en el párrafo anterior, la tenacidad se calcula con la ecuación 1.2 que se presenta enseguida:

$$\tau = \frac{F}{N} \quad [1.2]$$

En Donde:

τ : Tenacidad (N/Tex)

F: Carga o fuerza aplicada (N)

N: Título o densidad lineal de la fibra (Tex)

1.4.2.2 Elongación

Cuando los materiales son expuestos a fuerzas de tensión o compresión sufren deformación en sus dimensiones iniciales. En el caso de las fibras, estas al ser sometidas a fuerzas de tensión, la deformación que se presenta es un alargamiento respecto de su longitud inicial, es decir, su longitud se ve incrementada en un valor mientras su sección transversal se ve disminuida en su dimensión inicial. Generalmente, el incremento corresponde a una fracción de su longitud inicial pero puede ser varias veces su longitud inicial. A este tipo de deformación se la conoce como elongación. La elongación no es otra cosa que la diferencia entre la longitud final, alcanzada por la fibra al ser sometida a fuerzas de tensión, y su longitud inicial. Generalmente, esta diferencia es reportada como porcentaje respecto de su longitud inicial como lo indica la ecuación 1.3 (Jewel, 2009, p. 63).

$$\% \epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} * 100 \quad [1.3]$$

Donde:

ϵ : Elongación

l_f : Longitud final (mm, cm, m)

l_o : Longitud inicial de la fibra (mm, cm, m)

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Las fibras de formio fueron el soporte de la economía de Nueva Zelanda, su industrialización comenzó a inicios del siglo XIX. Su producción y exportación más alta se dio a inicios del siglo XX con la introducción de una máquina procesadora que permitió acelerar la producción de esta fibra, la que llegó a ser de 28 500 toneladas, aproximadamente, en los primeros años del siglo XX para exportación. Durante la primera guerra mundial, la exportación decayó hasta no más de 26 toneladas exportadas (Critchfield, 1951, pp. 172), debido a malas operaciones en los procesos, lo que llevó a que las fibras obtenidas sean de baja calidad y en consecuencia la mala reputación de esta industria; y con la aparición de las fibras sintéticas, al igual que otras fibras naturales, fue relegada y su producción se limitó al consumo local en bajas proporciones. Esto llevó a que la industria de esta fibra cese paulatinamente hasta que en los inicios de la década de 1980 la última fábrica cerró sus puertas (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Critchfield, 1951, p. 172; Harris y Woodcock-Sharp, 2000, p. 469).

En el territorio nacional, principalmente en la provincia de Tungurahua, el formio fue usado en cercas naturales y en la elaboración de cuerdas en bajas cantidades (Acosta, 1951, p. 38). En la actualidad, se lo está usando en forma ornamental únicamente, lo que puede ser apreciado en las entradas de centro comerciales y en ciertas avenidas de la ciudad de Quito.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores, se hace necesario el estudio de métodos de extracción adecuados para estas fibras vegetales, así como establecer su composición química y propiedades físicas y mecánicas, para con ayuda de la información obtenida, orientar su uso en la industria nacional.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la extracción de la fibra de formio con métodos tradicionales de obtención de fibras vegetales.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer las fibras contenidas en las hojas de *Phormium tenax* mediante tres diferentes métodos tradicionales: manual, enriado y descortezado mecánico.
- Establecer las condiciones para la extracción por los diferentes métodos propuestos.
- Seleccionar el método de extracción más apropiado.
- Caracterizar químicamente la fibra obtenida por el método seleccionado.

2.3 MATERIALES

2.3.1 MATERIALES Y REACTIVOS

Para ejecutar el presente proyecto se utilizaron hojas de formio cosechadas en la Av. Coruña, en la parroquia González Suárez al norte de la ciudad de Quito. Durante la cosecha, se realizó un corte diagonal de adentro hacia el exterior de las matas y a una altura de 25-30 cm, como se observa en la figura 2.1, como lo describen Harris y Woodcock-Sharp (2000) y Brescia (1969), de forma que se garantizó homogeneidad en las muestras. Se evitó cortar las cinco hojas centrales para permitir que la mata continúe con su ciclo normal de desarrollo.



Figura 2.1. Foto del proceso de cosecha descrito por Harris y Woodcock-Sharp (2000) y Brescia (1969)

Las hojas cosechadas se limpiaron con agua corriente para eliminar impurezas como polvo e insectos y se las almacenó en un recipiente con agua para que se mantengan “frescas” por algunos días.

Finalmente, se las midió y pesó antes de la ejecución de cada proceso de extracción propuesto.

Para efectuar los análisis de composición química de las fibras obtenidas, se usaron los reactivos indicados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Lista de los reactivos usados en la caracterización química de las fibras de formio

Reactivo	Fórmula	Pureza	Casa Comercial	Análisis en el que se utilizó
Ácido acético glacial	CH_3COOH	99,5 %	J.T. Baker	Solubilidad en sosa 1%
Ácido clorhídrico	HCl	37,5 %	Merck	Contenido de pentosanos
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	95,7%	Mallinckrodt	Contenido de lignina
Agua destilada	H_2O	-	-	Todos
Alcohol etílico anhidro	CH_3CH_2OH	95,0%	J.T. Baker	Contenido de resinas, ceras y grasas
Almidón soluble	$(C_6H_{10}O_5)_n$	-	Merck	Contenido de pentosanos
Benceno	C_6H_6	100%	HACH	Contenido de resinas, ceras y grasas
Bromato de potasio	$KBrO_3$	99,9%	Mallinckrodt	Contenido de pentosanos
Bromuro de potasio	KBr	99,5%	Panreac	Contenido de pentosanos
Hidróxido de sodio	$NaOH$	97,0%	Panreac	Solubilidad en sosa 1%
Hipoclorito de sodio 10%	$NaClO$	-	Casa de los químicos	Contenido de celulosa
Metabisulfito de sodio	-	-	Reactivos H.V.O.	Contenido de celulosa
Sulfito de sodio	Na_2SO_3	98,3%	J.T. Baker	Contenido de celulosa
Tiosulfato de sodio	$Na_2S_2O_3$	99,0%	BDH	Contenido de pentosanos
Yoduro de potasio	KI	99,9%	J.T. Baker	Contenido de pentosanos

2.3.2 EQUIPOS

Los equipos que se usaron para realizar los ensayos y análisis durante la investigación, fueron los equipos con los que cuenta el Centro Textil Politécnico.

Para extraer las fibras se usó: una carda, la que puede apreciarse en la figura 2.2, usada en los métodos de extracción manual y extracción por enriado. Además se usó una descortezadora de cabuya, la que puede observarse en la figura 2.3. La descortezadora fue sometida a un proceso de mantenimiento correctivo de manera que se ajuste a las necesidades operativas, es decir, tal que permita regular la separación mesa-paletas para lograr el desfibrado de las hojas de formio.



Figura 2.2. Foto de la carda usada en los procesos de extracción manual y por enriado de las fibras contenidas en las hojas de formio



Figura 2.3. Foto de la descortezadora de cabuya usada en la extracción mecánica de las fibras contenidas en las hojas de formio

En la determinación del título o densidad lineal de las fibras de formio se utilizó un mallímetro marca Shirley, de capacidad de 61 cm y una balanza analítica Kern ABS 220-4, con capacidad de 220 g y precisión de 0,1 mg, con los que se determinó la longitud y peso de las fibras, respectivamente.

Para determinar las propiedades mecánicas de las fibras obtenidas, por los métodos de extracción indicados, se utilizó una máquina de ensayos universales, marca Lloyd, modelo 1 000 S, con una celda de carga de 20 N. Los ensayos se realizaron de acuerdo con los parámetros y procedimientos establecidos en la norma ASTM D3822-96.

Se determinaron los contenidos de; resinas, ceras y grasas, celulosa, lignina, pentosanos, cenizas, humedad inicial y de análisis, solubilidad en agua caliente y en hidróxido de sodio al 1%, para lo que se cumplió con las directrices establecidas en las normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), las que son estándares internacionales para la determinación de la composición química en materiales ligno-celulósicos que son muy utilizados en la industria de pulpa y papel.

En la caracterización química se requirió de una máquina tamizadora y un conjunto de tamices para laboratorio marca Hogentogler & Co., #16, 20, 30, 40 y 60, colocados secuencialmente. Para determinar el contenido de resinas, ceras y grasas se siguieron las directrices de la Norma TAPPI-T6-os-59. Se usó un equipo Soxhlet, colocado sobre una plancha de calentamiento marca Cimarec. Además, se usó un rotavapor marca Büchi, con el que se extrajo el solvente usado, mezcla etanol-benceno, durante la extracción de los compuestos mencionados.

Para determinar el contenido de cenizas presentes en las fibras, se trabajó con los procedimientos descritos en la norma TAPPI-15-os-58. La calcinación se llevó a cabo en una mufla marca Lindberg modelo 58114, la cual fue facilitada por el Departamento de Ingeniería Química en el Laboratorio de Química Analítica.

En los ensayos para determinar humedad inicial y de análisis se siguieron los procedimientos establecidos en la norma TAPPI-T-412 m (6), se usó una estufa

MMM Venticell 55. Además, en ella se realizó el tarado de los materiales de laboratorios necesarios en todos los ensayos de caracterización.

En los ensayos para determinar contenido de celulosa, lignina, solubilidad en agua y en hidróxido de sodio al 1%, fue necesario el uso de crisoles filtrantes de vidrio poroso con tamaño de poro de 40 μm .

Se utilizaron también materiales de vidrio tales como; Balones de destilación de 250, 500 y 1 000 mL, tubos refrigerantes para reflujo y destilación, matraces aforados para preparar soluciones, matraces erlenmeyer, varillas de agitación, vasos de precipitación, buretas, pipetas serológicas y volumétricas, embudos de separación.

Finalmente el ordenamiento y almacenamiento de los datos recopilados se realizó con el programa de Microsoft EXCEL. Mientras que el análisis estadístico y análisis de varianzas se ejecutó con el programa Statgraphics Centurion para Windows.

2.4 EXTRACCIÓN MANUAL

El proceso de extracción manual se inició con el corte de los bordes, la quilla y la base de la hoja, partes que se indican en la figura 2.4, de manera que se obtuvieron dos fragmentos, como se muestra en la figura 2.5, las que posteriormente fueron divididas en tres segmentos que se nombraron como “A, B y C”, siendo las partes marcadas con “A”, las más cercanas a la quilla. Al finalizar con el proceso anterior se consiguieron seis segmentos de la hoja inicial como puede observarse en la figura 2.6. Por otro lado, con la finalidad de determinar si existe diferencia en la facilidad de extracción, conforme se incrementa el tiempo entre la cosecha de la hoja y la extracción de la fibra, se extrajeron las fibras de una hoja por día. En los primeros días, la extracción se realizó con una concha, se raspó los segmentos para desprender el material no fibroso, procedimiento descrito por Harris y Woodcock-Sharp (2000), como un procedimiento tradicional en nueva Zelanda, zona de origen del formio.

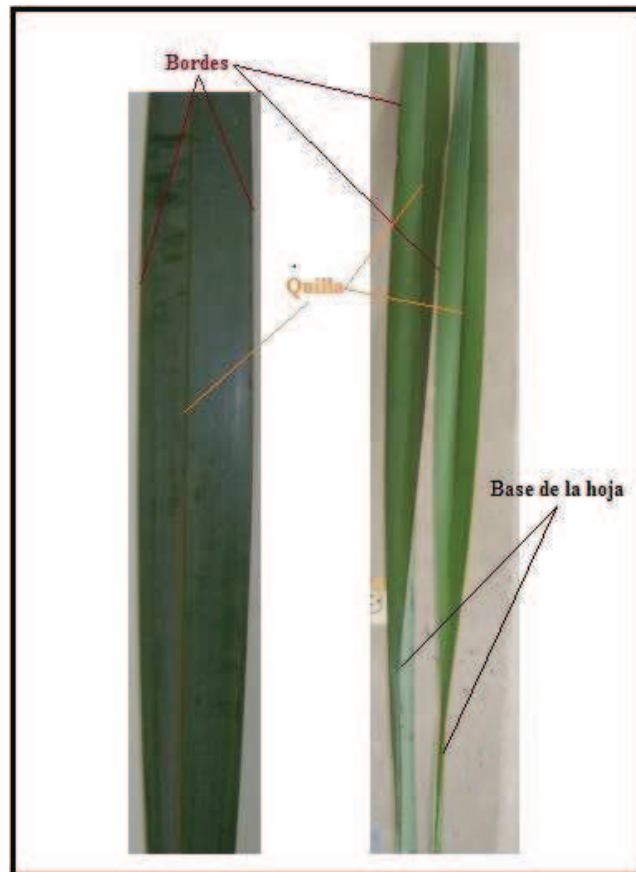


Figura 2.4. Esquema de las partes de la hoja de formio, retiradas para la extracción de las fibras



Figura 2.5. Foto de una hoja de formio después de retirar la quilla y la base de la hoja



Figura 2.6. Foto de los seis segmentos obtenidos de una hoja de formio para proceder a la extracción manual de la fibra

A partir del día tres, la extracción se realizó con una carda como se muestra en la figura 2.7. La carda retiró el material no fibroso por raspado, el que se realizó en forma ordenada y secuencial. Se inició en la parte superior de la hoja raspando y peinando hasta alcanzar una buena liberación de las fibras. Al terminar con la totalidad de la hoja, las fibras fueron sometidas a un proceso de limpieza para tratar de retirar el material no deseado adherido a las fibras. Una vez lavadas, las fibras se colgaron para secarlas al ambiente de manera que se acondicionen para su posterior tratamiento.



Figura 2.7. Foto del proceso de extracción manual realizado con carda

2.5 EXTRACCIÓN CON ENRIADO

En este proceso de extracción las hojas fueron manipuladas de manera similar que en el proceso de extracción manual, con la variante de que las hojas no se dividieron en seis segmentos, únicamente fueron divididas en dos segmentos, es decir, tal como se observó en la figura 2.5, los que fueron resultado de retirar los bordes, la quilla y la base de la hoja. En este proceso de extracción se tomaron dos procedimientos de trabajo. En el primero, al que se llamó enriado con machacado previo (EM), las hojas fueron sometidas a un proceso de machacado con una piedra de río antes de ser introducidas al baño de agua. Las hojas fueron colocadas en una canaleta, acondicionada para la ejecución de este proceso con aproximadamente 15 litros de agua, y se las mantuvo inmersas con ayuda de piedras de río. En el segundo, denominado enriado sin machacado previo (ESM), las hojas fueron introducidas en un baño de agua sin recibir ningún tratamiento previo. Se mantuvieron las mismas condiciones que en el enriado con machacado previo, es decir, se usó una canaleta con aproximadamente 15 litros de agua y la inmersión de las hojas se realizó con piedras de río, a continuación en la figura 2.8 se observa en esquema el proceso de enriado.

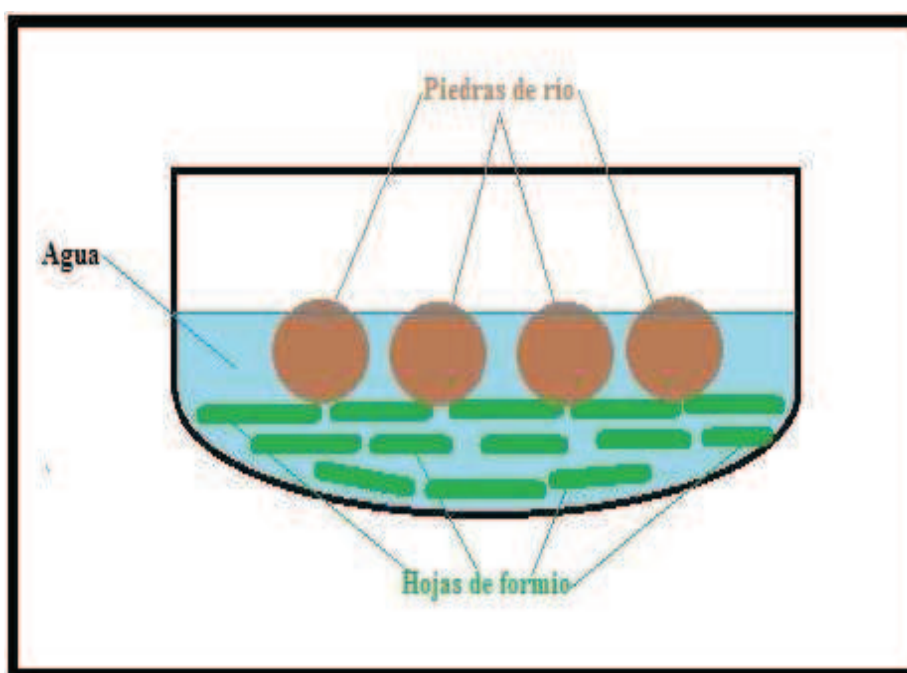


Figura 2.8. Esquema del proceso de enriado en estanque de las hojas de formio

El tiempo de permanencia de las hojas en el baño de agua fue establecido en base a procesos similares encontrados en bibliografía (García, 1999, p. 24; Mishra, 2005, p. 91). En el primer proceso, las hojas se empezaron a sacar a partir del día 5 y para el segundo proceso a partir del día 13, con intervalos de dos días, siendo los días destinados para extracción lunes, miércoles y viernes. Cada día, se extrajeron dos muestras, de esta manera se pudo garantizar la confiabilidad de los procesos. Las fibras fueron extraídas con ayuda de la carda en forma similar a la extracción manual como se observó en la figura 2.7, pero se realizó una variante en la limpieza de las fibras: para ambos procesos de enriado, las fibras fueron golpeadas contra un pedazo de madera después de haberlas sometido a un lavado con agua corriente. Finalmente las fibras fueron colgadas para su secado, acondicionándolas para su posterior tratamiento.

2.6 EXTRACCIÓN MECÁNICA POR DESCORTEZADO

Para la extracción de las fibras por este método, se realizaron pruebas preliminares con la desfibradora de cabuya en la planta piloto del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB).

La desfibradora fue enviada a un mantenimiento correctivo, se cambiaron las paletas y se habilitó el mecanismo de regulación horizontal, el que permite ajustar la separación entre la mesa y las paletas para la alimentación del material a desfibrar, de manera que la máquina no sea de uso exclusivo para el desfibrado de las hojas de formio.

Adicionalmente se colocaron, un mecanismo de regulación vertical, un protector para el operador en la mesa de alimentación y se modificó la coraza de salida. Una vez habilitada la descortezadora, se realizaron pruebas con rango de luz de 0,43 a 0,28 mm, entre las paletas y la mesa de alimentación. La luz se ajustó con un calibrador de láminas. En uno de los ensayos se reguló la separación paletas-mesa a 0,30 mm como se observa en la figura 2.9.



Figura 2.9. Foto de la desfibradora de cabuya con la separación paletas-mesa de 0,30 mm

Una vez establecida la separación paletas-mesa, se procedió a realizar varias extracciones. La alimentación de las hojas fue variada. Las primeras hojas se alimentaron desde el extremo superior con el haz hacia arriba y otras con el haz hacia la mesa. Se alimentaron también por el extremo inferior con haz hacia arriba y hacia la mesa. Al final se estableció el tipo de alimentación con el que se obtienen las fibras con poco material no fibroso adherido a ellas, y se procedió a extraer las fibras de varias hojas. Las fibras extraídas fueron sometidas a un proceso de lavado con agua corriente, inmediatamente después de salir de la descortezadora, para la remoción de los residuos de material no deseado y para eliminar la coloración verde que presentaron las fibras. Las fibras lavadas fueron puestas a secar al ambiente, una vez secas, éstas fueron peinadas (cardadas), para remover material no fibroso, antes de su tratamiento posterior.

2.7 SELECCIÓN DE UN MÉTODO ADECUADO DE DESFIBRADO

En esta instancia de la investigación, se realizó un análisis comparativo entre métodos. Para la selección del método apropiado se consideraron aspectos como facilidad de remoción del material no fibroso, contenido de material no deseado en las fibras, color de las fibras. Las escalas cualitativas se muestran en las tablas 2.2, 2.3 y 2.4, respectivamente. Se calificó de acuerdo con una escala entre uno

(1) y cuatro (4). Se asignó el valor de cuatro a los mejores resultados y uno a los resultados menos favorables. Adicionalmente, se realizó un análisis estadístico del título y de la tenacidad.

Tabla 2.2. Escala cualitativa asignada a la Facilidad de remoción del material no fibroso en los procesos de extracción de fibras de formio

Criterio de calificación	Valor numérico
Difícil remoción del material no fibroso	1
Moderada dificultad de remoción del material no fibroso	2
Moderada facilidad de remoción del material no fibroso	3
Fácil remoción del material no fibroso	4

Tabla 2.3. Escala cualitativa asignada al contenido de material no deseado en las fibras obtenidas en los procesos de extracción de las fibras de formio

Criterio de calificación	Valor numérico
Mucha presencia de material no fibroso en las fibras	1
Poca presencia de material no fibroso en las fibras	2
Presencia superficial de material no fibroso en las fibras	3
Presencia esporádica de material no fibroso en las fibras	4

Tabla 2.4. Escala cualitativa asignada al color de las fibras obtenidas en los procesos de extracción de las fibras de formio

Criterio de calificación	Valor numérico
Fibras de color verde	1
Fibras de color verde amarillentas	2
Fibras de color amarillo	3
Fibras de color blanco	4

2.7.1 TÍTULO DE LAS FIBRAS

Para determinar el título, las fibras fueron medidas con un mallímetro Shirley. Se usaron cuarenta (40) segmentos de fibra; de 0,20 m de longitud para fibras de extracción manual y enriado, y de 0,40 m de longitud para las fibras producto del descortezado mecánico. Los segmentos de fibras fueron pesados individualmente en la balanza analítica Kern ABS 220-4. Finalmente, el título se determinó con la expresión 2.1 que se muestra enseguida.

$$T = k * \frac{\text{Peso del segmento [g]}}{\text{Longitud del segmento [cm]}} \quad [2.1]$$

Donde:

T: es el título expresado en Tex

k: es una constante igual a 100 000

2.7.2 TENACIDAD Y ELONGACIÓN DE LAS FIBRAS

La tenacidad y la elongación alcanzada por las fibras se determinó bajo los lineamientos de la norma ASTM D 3822-96, *Standard Test Method Tensile Properties of Single Textil Fiber*, en una máquina de ensayos universales, Lloyd 1000S, con una celda de carga de 20 N. La velocidad de ensayo fue de 2 mm/min y la separación inicial entre mordazas de 20 mm, como se indica en la figura 2.10.

Para determinar estas propiedades, los segmentos de fibra se colocaron en las mordazas de la máquina de ensayos universales en donde se aseguraron manualmente con ayuda de las tuercas tipo mariposa en las mordazas. Una vez aseguradas las fibras, se verifica que la fibra no presente ondulaciones, esto con la finalidad de evitar errores en la determinación del porcentaje de elongación. Enseguida, se ejecuta el ensayo con ayuda de un ordenador, el que presenta un panel de opciones en su pantalla, del cual se escoge la opción “run” ó “go”. Una

vez realizada esta acción el ordenador registra y graba los resultados obtenidos durante el ensayo.



Figura 2.10. Foto de la separación inicial de las mordazas en la máquina de ensayos universales para determinar las propiedades mecánicas de las fibras de formio

2.7.3 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

El tratamiento estadístico, de los datos recolectados del título, tenacidad y porcentaje de elongación de las fibras, se realizó con el programa Statgraphics para Windows. Con el programa se analizaron cada una de las muestras estadísticas para garantizar su relación con una distribución normal a un nivel de confianza del 95%, que es el mínimo nivel de significancia requerido en este tipo de estudios (Hernández, Fernández y Baptista, 1994, pp. 383-391). El programa obtiene los valores del sesgo estandarizado y de la curtosis estandarizada, mientras estos valores se mantengan en el rango de tolerancia de -2 a +2, el programa considera que una muestra proviene o tiene relación con una distribución normal. Cuando esto no se cumple, las muestras requieren ser “ajustadas” a una distribución normal, para lo que se retiran valores extremos o atípicos; tal que los valores del sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada se ajusten al rango indicado de -2 a +2. Los valores extremos fueron identificados por el ordenamiento ascendente de datos y en los gráficos de cajas y bigotes.

Con las muestras “ajustadas” a una distribución normal, se realizó el análisis de varianzas (ANOVA), con el que se estableció si las muestras son o no estadísticamente diferentes, para ello el programa utiliza la razón entre los cuadrados medios, entre grupos y en el interior de cada grupo, para determinar la razón F, también llamada F calculada. El programa compara el F calculado con el factor F “crítico” y determina el valor P, siendo P la probabilidad de error de la hipótesis de que las medias muestrales sean iguales, para un nivel de confianza del 95%. El criterio del análisis de varianzas se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Criterios del Análisis de Varianzas (ANOVA) para Statgraphics

Criterio de calificación	Condición
Existe diferencia estadística significativa	$P < 0,05$
No existe diferencia estadística significativa	$P > 0,05$

Después del análisis ANOVA, se realizó un análisis de grupos homogéneos, para lo que el programa considera la mínima diferencia significativa de Fisher y la compara con la diferencia entre las medias analizadas, para determinar si existen o no diferencias estadísticas significativas entre ellas.

Finalmente, para la selección del método adecuado se realizó un análisis global, en el que se consideraron además los criterios indicados anteriormente en las tablas 2.2 a la 2.4. Las fibras obtenidas por el método seleccionado se usaron para determinar su composición química.

2.8 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS FIBRAS EXTRAÍDAS CON EL MÉTODO SELECCIONADO

La composición química de las fibras fue determinada bajo los lineamientos establecidos en las normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry).

La caracterización se inició con la determinación del contenido de humedad con ayuda de la norma TAPPI-T-412m (6). Se realizó análisis de humedad inicial con 2 g de fibras cortadas a 3 cm de longitud aproximadamente y la humedad de análisis se determinó con 2 g de material tamizado y retenido en malla 60. En ambos casos se llevó las muestras a la estufa por un periodo de tres (3) horas a $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Las muestras se pusieron en un desecador y finalmente fueron pesadas. Las humedades fueron determinadas con la ecuación 2.2.

$$\%Humedad = \frac{Pm_i - Pm_f}{Pm_i} \times 100 \quad [2.2]$$

En donde:

Pmi: Peso inicial de la muestra (g)

Pmf: Peso final de la muestra (g)

Extracción de resinas, ceras y grasas (TAPPI-T6-os-59), para su determinación se tomaron muestras de 3 g aproximadamente. Las muestras previamente fueron molidas y tamizadas. El material retenido en la malla 60 fue usado para los ensayos.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de extracción en un aparato Soxhlet, por un periodo de 8 horas, con una mezcla 67% etanol – 33% benceno. Una vez alcanzado el tiempo requerido, se evaporó y recolectó el solvente a temperatura de $80 \pm 5^\circ\text{C}$ con ayuda de un rotavapor, durante aproximadamente 1,5 horas. Enseguida, los balones fueron llevados a la estufa por un periodo de tres horas a $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Una vez concluido el secado, los balones se colocaron en un desecador para que se enfríen y finalmente fueron pesados para determinar la cantidad de resinas, ceras y grasas presente en las fibras. El contenido de resinas, ceras y grasas fue determinado con la ecuación 2.3 mostrada a continuación:

$$\%Grasas = \frac{PB_f - PB_i}{P_m(1-H)} \times 100 \quad [2.3]$$

En donde:

PB_f: Peso final del balón (g)

PB_i: Peso inicial del balón (g)

P_m: Peso de la muestra (g)

H: Humedad presente en la muestra

El contenido de celulosa (TAPPI-T17-m-55) se determinó con muestras paralelas de 2 g, previamente tratadas, con una mezcla etanol-benceno (para eliminar resinas, ceras y grasas) y secada al ambiente. Se agregaron 50 mL de solución de hipoclorito de sodio 10% y se dejó reposar por 8 horas. Se filtró en un crisol poroso previamente tarado y pesado, enseguida se realizó un lavado secuencial con agua, solución de dióxido de azufre 3%, agua y solución de sulfito de sodio 2%. Las muestras lavadas se colocaron en un vaso con 115 mL de solución de sulfito de sodio 2% y se dejaron reposar por 30 min. Estas muestras fueron filtradas en los mismos crisoles, enseguida fueron lavadas con 250 mL de agua. Finalmente, las muestras fueron secadas en estufa a 105 ± 5 °C por tres horas, se dejó enfriar y se pesó. El contenido de celulosa se determinó con la ecuación 2.4 presentada a continuación:

$$\%Celulosa = \frac{PC_f - PC_i}{P_m} \times 100 \quad [2.4]$$

En donde:

PC_f: Peso final del crisol poroso (g)

PC_i : Peso inicial del crisol poroso (g)

P_m : Peso de la muestra seca tratada con mezcla etanol-benceno (g)

El contenido de lignina (TAPPI-T13-os-54) fue determinado con 1 g, aproximadamente, de la muestra tratada con etanol-benceno, se trabajó con paralelas. Sobre las muestras se colocaron 15 mL de ácido sulfúrico 72% y se mantuvieron en un sistema de agitación magnético por dos horas, luego de lo que, se pasaron a un balón de 1 000 mL, se añadieron 560 mL de agua y se sometieron a reflujo por 4 horas. Al finalizar el periodo de reflujo, el contenido de los balones se dejó enfriar y sedimentar. Las muestras fueron filtradas en crisoles porosos tarados y se lavaron con 500 mL de agua caliente. Las muestras fueron secadas en estufa por tres horas a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, se dejaron en un desecador para enfriarlas antes de pesarlas. La cantidad de lignina presente en las fibras fue calculada con la ecuación 2.5.

$$\%Lignina = \frac{PC_f - PC_i}{P_m} \times 100 \quad [2.5]$$

En donde:

PC_f : Peso final del crisol poroso (g)

PC_i : Peso inicial del crisol poroso (g)

P_m : Peso de la muestra seca tratada con mezcla etanol-benceno (g)

El contenido de pentosanas (TAPPI-T233-m-48) se determinó con 1 g, aproximadamente, del material tamizado y retenido en malla 60. Las muestras fueron secadas en una estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ para eliminar la humedad presente. Luego fueron colocadas en un balón de destilación con 100 mL de ácido clorhídrico 3,5 N. El contenido de los balones fue sometido a destilación, de modo

que se pudo recoger el destilado a razón de 3 mL por minuto. Para compensar el volumen de destilado se agregó HCl 3,5 N con ayuda de un embudo de separación conectado al balón de destilación. Una vez recogidos 300 mL de destilado, se les agregaron 250 g de hielo y 50 mL de agua. Se agregaron 20 mL de solución de bromuro - bromato 0,2 N, una vez que la mezcla llegó a 0 °C, se agitó por 5 minutos en un erlenmeyer tapado. Luego de transcurrido el periodo de agitación se agregaron 10 mL de yoduro de potasio al 10% y unas gotas de almidón. Finalmente se tituló con una solución de tiosulfato de sodio 0,1 N. Adicionalmente se preparó un blanco con 270 mL de ácido clorhídrico (HCl) 3,5 N y 80 mL de agua, se procedió de manera similar al destilado y se tituló con tiosulfato de sodio 0,1 N. El contenido de pentosanas se determinó con la ecuación 2.6.

$$\%Pentosanas = \frac{7.5N(v_b - v_g)}{P_m} - 1\% \quad [2.6]$$

En donde:

N: Normalidad de la solución de tiosulfato

P_m: Peso seco de la muestra (g)

v_b: Volumen de solución gastado con el blanco (mL)

v_g: Volumen de solución gastado con la muestra (mL)

El contenido de cenizas (TAPPI-15-os-58) se determinó con dos muestras de 1 g aproximadamente de material tamizado y secado. Las muestras fueron carbonizadas sobre un mechero antes de su calcinación, se calcinó en una mufla a 585 ± 15 °C por 4 horas y se colocaron en un desecador para finalmente ser pesadas. El contenido de cenizas fue determinado con la ecuación 2.7.

$$\%Cenizas = \frac{Pm_f}{Pm_i} \times 100 \quad [2.7]$$

En donde:

Pmi: Peso inicial de la muestra (g)

Pmf: Peso final de la muestra (g)

Para evaluar el ataque de hongos o solubilidad en hidróxido de sodio al 1%, se pesaron dos muestras de 2 g aproximadamente de fibra molida y tamizada. Las muestras se colocaron junto con 100 mL de solución de hidróxido de sodio al 1% en un erlenmeyer de 125 mL de capacidad. Se colocaron núcleos de ebullición en el erlenmeyer. Los recipientes se taparon y fueron llevados a un baño de agua a ebullición por una hora y se agitaron vigorosamente a los 10, 15 y 25 min. Las muestras se filtraron en crisoles porosos y se lavaron con 50 mL de agua caliente, 50 mL de ácido acético al 10% y 50 mL de agua caliente en forma secuencial. Finalmente, las muestras se llevaron a la estufa a 105 ± 5 °C por tres horas para su secado, luego se estabilizaron en un desecador y se las pesó. Para determinar el porcentaje de solubilidad en sosa se usó la ecuación 2.8.

$$\%Sol. NaOH = 100 - \left(\frac{PC_f - PC_i}{P_m(1-H)} \times 100 \right) \quad [2.8]$$

En donde:

PC_f: Peso final del crisol poroso (g)

PC_i: Peso inicial del crisol poroso (g)

Pm: Peso de la muestra (g)

H: Humedad presente en la muestra

La solubilidad de las fibras en agua caliente se determinó con de 2 g aproximadamente, en muestras paralelas, de las fibras molidas y tamizadas. Las muestras se colocaron en un balón de destilación con refrigerante en posición de reflujo, que se mantuvo a ebullición por 3 horas. Las muestras se filtraron en crisoles porosos y se lavaron con agua caliente. Se llevaron a la estufa por un periodo de tres horas a 105 ± 5 °C. Finalmente, las muestras se enfriaron en un desecador para ser pesadas, para determinar la solubilidad en agua caliente se usó la ecuación 2.9.

$$\%Sol. = 100 - \left(\frac{PC_f - PC_i}{P_m(1-H)} \times 100 \right) \quad [2.9]$$

En donde:

PC_f : Peso final del crisol poroso (g)

PC_i : Peso inicial del crisol poroso (g)

P_m : Peso de la muestra (g)

H : Humedad presente en la muestra

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EXTRACCIÓN MANUAL

3.1.1 EXTRACCIÓN DE FIBRAS

Durante la ejecución de este proceso, se realizaron los procedimientos descritos en la metodología experimental en la sección 2.4. Las hojas cosechadas presentaron longitudes entre 1,69 y 2,06 m, con ancho de hasta 0,12 m en la parte media. El peso de la parte usada en la extracción de las fibras presentó valores entre 50,0 y 66,0 g.

En la extracción de las fibras, los dos primeros días se realizó el raspado y desprendimiento del material no fibroso con una concha. Este proceso se descartó porque requería mucho tiempo de ejecución y las fibras se cortaban con facilidad, como consecuencia se obtuvieron fibras de baja longitud. A partir del tercer día se estableció como mecanismo de extracción el cardado en las dos caras de la hoja. Este proceso resultó más sencillo por tratarse básicamente de un cepillado y se encontró que el cardado por la cara posterior favorece la remoción del material no fibroso.

La remoción del material no fibroso en los primeros días después de la cosecha es relativamente fácil pero con el paso de los días tiende a incrementar su grado de dificultad, debido a que la hoja se deshidrata y el material no fibroso se adhiere con mayor fuerza a las fibras. Adicionalmente, se observó la formación de una capa translúcida de color verde claro y aspecto similar a un plástico en la superficie de la hoja como se muestra en la figura 3.1.

El color predominante en las fibras extraídas por este método es el verde, el que es consecuencia de la presencia de los pigmentos que posee la planta, básicamente en el material no fibroso. Las fibras fueron lavadas solo al finalizar la extracción, esta demora permitió que los pigmentos se fijen en las fibras. No fue posible remover, con el lavado y limpieza posterior, los residuos del material no fibroso.

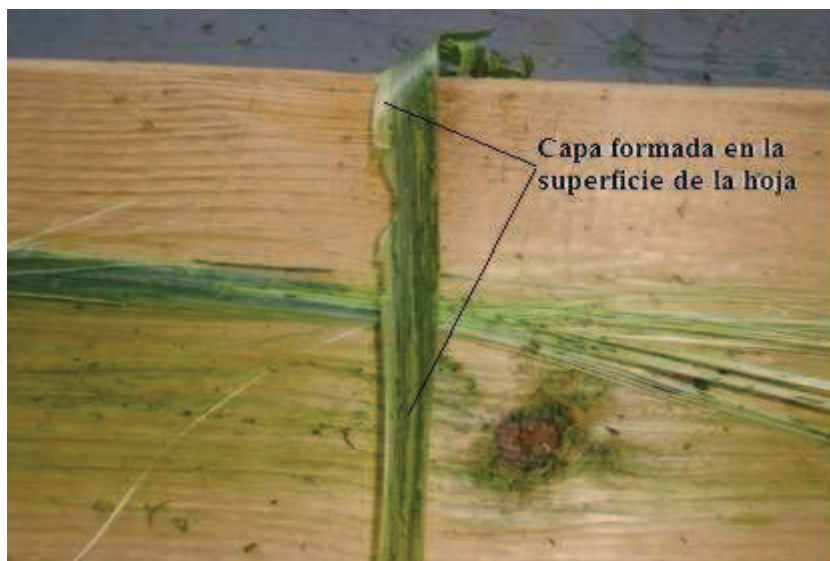


Figura 3.1. Foto de capa formada en la superficie de la hoja de formio

La cualificación realizada a este proceso de extracción se presenta enseguida en la tabla 3.1. Esta cualificación se propuso en la sección 2.7 en las tablas 2.2 a la 2.4.

Tabla 3.1. Resultados de la cualificación del proceso de extracción manual

		Criterio		
		Facilidad de Remoción de material no fibroso	Contenido de material no deseado	Color de las fibras
Día de extracción	3	3	2	1
	4	3	2	1
	5	3	2	1
	6	3	3	2
	7	2	3	2
	8	2	3	2

En la tabla 3.1 se presentan los resultados de la evaluación del método de extracción manual a partir del día 3, debido a que las muestras de los dos primeros días se descartaron por el alto contenido de material no deseado, ya que

en estos días se trató de reproducir el método tradicional de Nueva Zelanda con resultados poco favorables.

La remoción del material no fibroso en los días 3 al 6, se presenta relativamente fácil mientras en los días 7 y 8 tiende a dificultarse como consecuencia de la deshidratación de las hojas. Por otra parte, el contenido de material no deseado en las fibras extraídas disminuye conforme avanza el tiempo desde la cosecha, debido a que el proceso de extracción mejoró con el avance de los días, es decir, el cardado se realizó con mayor rapidez y el poco material adherido a las fibras fue retirado constantemente durante la extracción.

El color de las fibras obtenidas con este método no mejoró significativamente con el pasar de los días, así lo reflejan los valores en la tabla 3.1, en la que se indica que el color de las fibras pasó de verde, en los primeros días, a un color verde amarillento en los días 7 y 8. El color de las fibras podría mejorar, si éstas son sometidas a lavado conforme se va extrayéndolas, debido a que el lavado ayudaría a eliminar material no deseado y los pigmentos propios de la planta.

Otros aspectos evaluados en el presente trabajo son el rendimiento de extracción, propiedades de la fibra como su título, tenacidad y la elongación que estas presentan al ser sometidas a una fuerza de tensión.

El rendimiento global promedio alcanzado, respecto de la parte usada para la extracción, se muestra en la tabla 3.2. Las partes usadas para la extracción de las fibras por este método se mostraron en el capítulo 2 en las figuras 2.5 y 2.6.

Tabla 3.2. Resumen de resultados de rendimiento alcanzado con el método de extracción manual de las fibras de formio

Rendimiento Promedio [%]	Desviación Estándar [%]	CV [%]	Mín. [%]	Máx. [%]
16,10	5,17	32,14	5,47	20,96

$$\bar{X} \pm \sigma (n = 6)$$

El resultado que se presenta, en la tabla 3.2, es un promedio general obtenido de los rendimientos alcanzados para cada hoja, a partir del día 3. En el Anexo I se presentan los valores obtenidos de la caracterización inicial, así como los rendimientos alcanzados con las hojas usadas en este proceso.

El rendimiento promedio obtenido con este proceso se encuentra cerca de los valores reportados para el contenido de fibras en esta planta, el cual se encuentra entre el 10 y 15% en peso (Acosta, 1952, p. 38; Brescia, 1969, p. 248; Critchfield, 1951, p. 172). Sin embargo, el rendimiento no será un factor determinante en la selección de un proceso adecuado de extracción de las fibras de formio, debido a que el proceso de extracción fue evolucionando con el pasar de los días como ya se indicó. Es así que en el transcurso de los días se obtenían fibras con menor contenido de material no deseado y además se tuvo visible descenso en las “pérdidas” de fibras.

Por otra parte, el coeficiente de variación es alto. Esto podría ser producto del descenso en el contenido de materia no deseada en las fibras y en las pérdidas al final del proceso de extracción. Además, esta variación se deriva del grosor de las fibras obtenidas, ya que fibras gruesas aportan mayor cantidad de masa y en consecuencia el rendimiento se incrementa. Enseguida en la figura 3.2 se presentan las fibras obtenidas en el proceso de extracción manual.



Figura 3.2. Foto de las fibras obtenidas de tres segmentos de una hoja de formio

En la figura 3.2 se observan las fibras extraídas de tres de los segmentos en los que se dividió una de las hojas. Se aprecia además el color verde de las fibras y la poca soltura de las mismas, debido a la presencia de material no deseado adherido a ellas.

Con base en lo expuesto y observando los resultados en la tabla 3.1, se podría recomendar como día de extracción, en este estudio, el día 6 debido a que en este se alcanzan los valores más altos de cualificación en este proceso.

3.1.2 TÍTULO DE LAS FIBRAS

El título de las fibras se obtuvo con los procedimientos descritos en el capítulo 2 en la sección 2.7.1. El título promedio global para este método de extracción se observa en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Resumen de resultados del título de las fibras de formio obtenidas por el método de extracción manual

Promedio Título [Tex]	Desviación Estándar [Tex]	CV [%]	Mín. [Tex]	Máx. [Tex]
17,4	9,3	53,5	2,5	55,0

$$\bar{X} \pm \sigma (n = 240)$$

El valor promedio reportado es similar a valores reportados de 17 Tex, para otras variedades de esta planta (Lowe *et. al*, 2009, p. 121). El coeficiente de variación indica una alta variabilidad del título de las fibras, lo que es normal en fibras vegetales, ya que su estructura varía en toda su longitud, debido a la acumulación en mayor o menor grado de compuestos como celulosa, lignina e incluso a la presencia de material no deseado, lo que afecta en forma directa a esta propiedad (Booth, 1961, p. 150; Casey, 1990, pp. 29-35; Jewel, 2009, pp. 23-27). Además, se debe a la presencia de impurezas, materiales no deseados y posiblemente a la edad de las hojas cosechadas (Honorato y Hernández, 1998, p. 79; Castillo *et. al*, 2008, pp. 1-9).

En la figura 3.3 y en las tablas 3.4 y 3.5 se presentan los resultados de los análisis del título de las fibras obtenidas en este proceso.

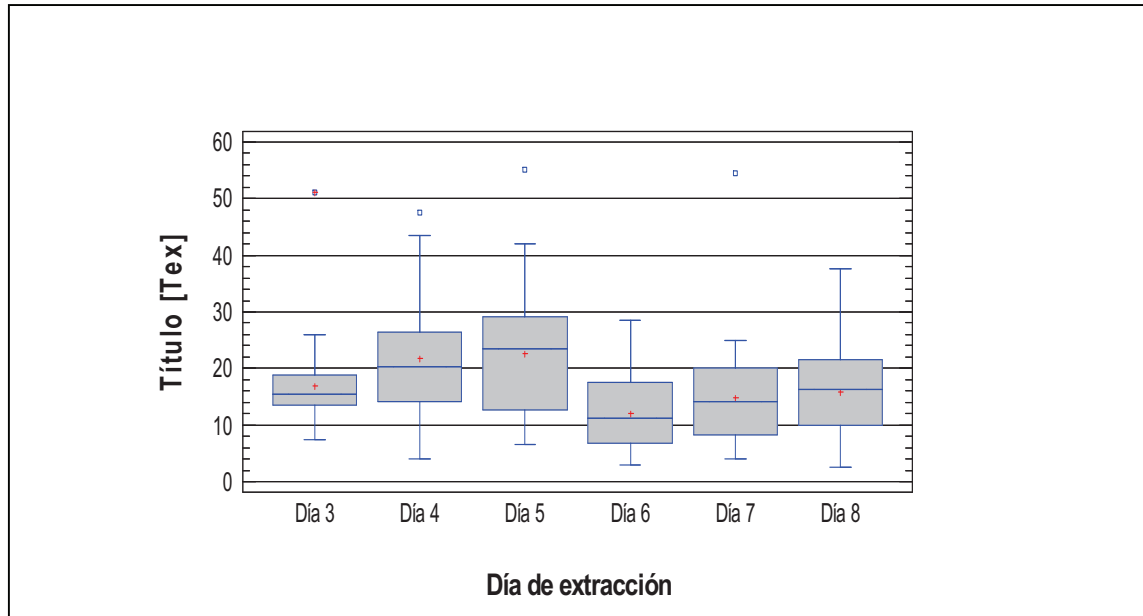


Figura 3.3. Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas por extracción manual para seis días diferentes

El diagrama, en la figura 3.3, permite apreciar la alta variabilidad entre los valores del título de las fibras obtenidas con este proceso, incluso se observa que en los días 3, 4, 5 y 7 existen valores extremos que amplían los rangos en forma significativa, afectando directamente a la media de las muestras y al promedio global reportado en la tabla 3.3 (Hernández *et. al*, 1994, pp. 383-391; Hines y Montgomery, 1993, pp. 8-12). Además, se observa que en los días 6, 7 y 8, el 50% de los valores del título, en cada muestra, se encuentran entre 10 y 20 Tex. Esto podría ser fruto de la rapidez en el cardado y de la limpieza continua de las fibras disminuyendo la cantidad de material no deseado. Los datos usados para este análisis se presentan en el Anexo II.

Por otro lado, se aprecia que las muestras de los días 4 y 5 son las que presentan dispersión alta en los valores de esta propiedad y en el día 5, el 50% de los valores tiene una mayor dispersión que en el día 4.

El análisis de varianzas, como ya indicó en la sección 2.7.3, se realizó con el programa Statgraphics para Windows. Los datos individuales usados en el análisis son los presentados en el Anexo II, con excepción de aquellos que se encuentran sombreados, ya que estos fueron los que se retiraron en el ajuste de las muestras estadísticas.

Tabla 3.4. Resultados del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por el proceso de extracción manual*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3 612,0	5	722,4	11,53	< 1,0E-04
Intra grupos	14 538,6	232	62,7		
Total (Corr.)	18 150,6	237			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.5. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por extracción manual

		Tamaño de muestra	Promedio [Tex]	Desv. Estándar [Tex]	Grupos Homogéneos		
Día de extracción	3	39	16,0	3,9		X	
	4	40	21,8	9,8			X
	5	40	22,7	11,0			X
	6	40	12,2	6,6	X		
	7	39	13,8	6,2	X	X	
	8	40	15,9	7,7		X	

En la tabla 3.4 se observa que el valor P es menor que 0,05, el que es el mínimo recomendado (Hernández *et. al*, 1994, pp. 383-391; Hines y Montgomery, 1993, p. 409), como nivel de significancia para este tipo de análisis, lo que indica que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las muestras analizadas. Estas diferencias podrían ser consecuencia de la dispersión de los

valores individuales en cada una de las muestras, debido a la presencia de mayor o menor cantidad de material no fibroso adherido a las fibras obtenidas para cada día; además deben recordarse las diferencias estructurales mencionadas, es decir, hay que tener presente que por tratarse de fibras naturales, sus dimensiones tienden a variar en una misma fibra y con mayor razón entre ellas (Jewel, 2009, p. 23).

En la tabla 3.5 se observa que existen tres grupos homogéneos, es decir, que no presentan diferencias estadísticas significativas entre las medias muestrales. Esto confirmaría la presencia de fibras con diferentes grosores o diámetros. Se observa que los promedios del título, en los días 4 y 5, son altos respecto de los otros días y la desviación estándar del día 5 confirma que este es el día en el que se tuvo mayor variación, esto podría ser consecuencia de una mayor presencia de fibras gruesas, sin descartar que exista mayor cantidad de materia no deseada en las fibras.

Al observar la figura 3.3 y la tabla 3.5, se establece que la muestra del día 3 es la que presenta menor dispersión de los valores del título, lo que haría presumir que este sería el día recomendado para la extracción de las fibras por este proceso, sin embargo, en la tabla 3.5 se aprecia que el promedio del título de las fibras del día 6, es el menor entre los promedios encontrados pese a que hay mayor dispersión de los valores del título, respecto del día 3. Esto indicaría que estas fibras son más finas o que presentan menor contenido de materia no deseada, lo que ratifica lo expuesto anteriormente, es decir, que las fibras extraídas en el día 6 presentaron mejores resultados.

3.1.3 TENACIDAD DE LAS FIBRAS

La tenacidad de las fibras se obtuvo siguiendo los procedimientos descritos en el capítulo 2, en la sección 2.7.2. La tenacidad promedio para este método de extracción se muestra en la tabla 3.6.

El promedio presentado en la tabla 3.6, es aproximadamente un 50% menor que los valores encontrados para otras variedades de formio (Carr *et. al*, 2005, p. 93).

Tabla 3.6. Resumen de resultados de la tenacidad de las fibras extraídas por el método de extracción manual

Tenacidad Promedio [cN/Tex]	Desviación Estándar [cN/Tex]	CV [%]	Mín. [cN/Tex]	Máx. [cN/Tex]
20,71	9,49	45,79	4,53	54,76

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 240)

El coeficiente de variación presentado en la tabla 3.6 indica que existe alta variabilidad en la tenacidad de las fibras obtenidas por extracción manual. Como la fuerza de tensión máxima soportada por cada fibra está en relación directa al título, es decir, si el grosor de la fibra se incrementa la fuerza de tensión aumenta, es por ello que en lugar de reportar la fuerza absoluta, se usa el coeficiente entre fuerza a la ruptura y el título de la fibra, es decir, la tenacidad a la rotura. Sin embargo, si el aumento del título no se debe a un incremento real del grosor, sino a la presencia de impurezas, la fuerza a la ruptura no aumenta, por lo que la tenacidad disminuye. No se debe olvidar que las fibras naturales poseen estructura irregular y esto podría ser un factor influyente en la determinación de las cargas soportadas por las fibras, es decir, las fibras pudieron fallar en los sitios en que su estructura presenta cambios en su sección transversal, lo que pudo ocasionar que en algunos casos se registren valores bajos en las cargas de tensión soportadas por las fibras. Todo ello incrementa la dispersión de la tenacidad.

En la figura 3.4 y en las tablas 3.7 y 3.8 se presentan los resultados de los análisis de la tenacidad de las fibras obtenidas en este proceso. Los datos primarios con los que se obtuvieron los promedios de la tenacidad de cada grupo se presentan en el Anexo II.

En la figura 3.4 se presenta un diagrama comparativo de los rangos y dispersión de la tenacidad de las fibras obtenidas en este proceso. Se aprecia que la media de la tenacidad, representada por los puntos rojos, se mantiene en 20 cN/Tex, aproximadamente, con excepción de la muestra del día 5, día en el que se presenta un descenso notable en el valor de la media respecto de las otras muestras, lo que podría ser consecuencia de la presencia de fibras más gruesas o

con mayor contenido de material no deseado adherido a ellas, esto incrementaría el título de las fibras, como se observó en la tabla 3.5, sin influir en las cargas soportadas por las fibras. Los valores extremos presentados en la figura 3.4 fueron retirados para realizar el análisis de varianzas, el que solo puede ejecutarse si las muestras provienen de una distribución normal.

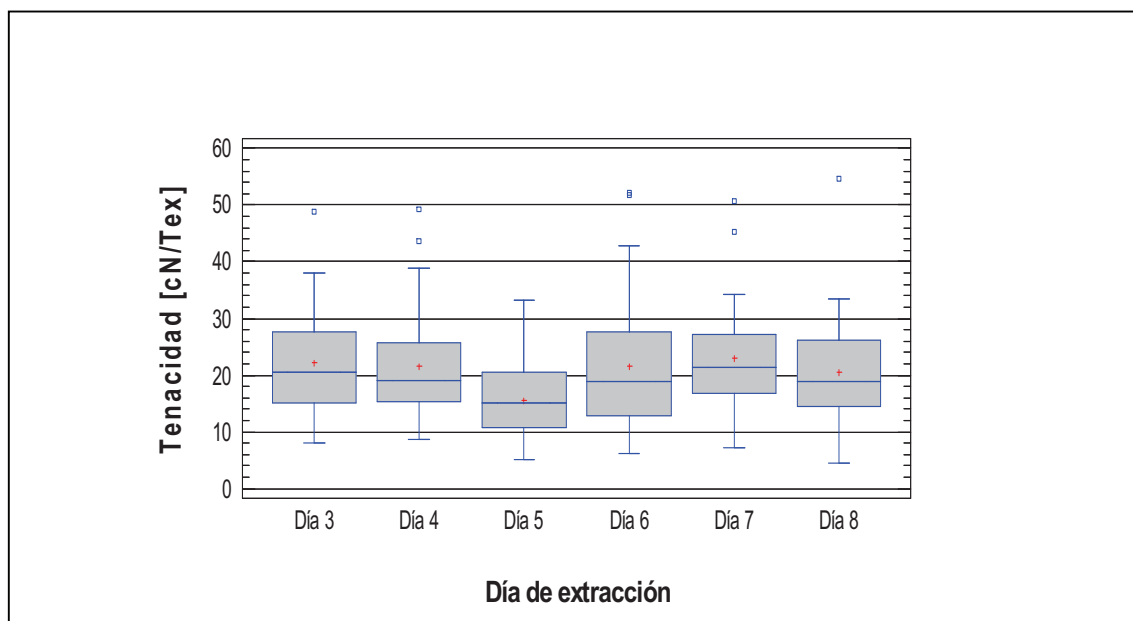


Figura 3.4. Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual para seis diferentes días

Para el análisis ANOVA, las muestras fueron estadísticamente ajustadas, tal que se garantizó su relación con una distribución normal.

Tabla 3.7. Resultados del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1 032, 6	5	206,5	3,48	4,8E-03
Intra grupos	13 360,3	225	59,4		
Total (Corr.)	14 392,8	230			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.8. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual

		Tamaño de muestra	Promedio [cN/Tex]	Desv. Estándar [cN/Tex]	Grupos Homogéneos	
Día de extracción	3	39	21,5	8,0		X
	4	38	20,2	7,4		X
	5	40	15,6	6,4	X	
	6	38	20,0	9,7		X
	7	37	22,1	7,3		X
	8	39	19,6	7,1		X

En la tabla 3.7 se observa que el valor P es menor que 0,05. Esto indica que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de los grupos para un nivel de confianza del 95%. Las diferencias serían el resultado del mayor o menor contenido de celulosa cristalina, (Casey, 1990, p. 32), en la estructura de las fibras, debido a que un mejor ordenamiento de las cadenas de celulosa, mejoran las propiedades mecánicas de las fibras, sin embargo, esto puede disminuir su flexibilidad. Esto permite confirmar que estructuralmente estas fibras no tienen una relación de uniformidad en una misma fibra y en consecuencia, tampoco entre fibras.

Por otra parte, en la tabla 3.8, se observa que la muestra del día 5 presenta la media más baja para esta propiedad, lo que sería consecuencia de presencia de material no deseado en las fibras, ya que incrementa su título, y no necesariamente porque las fibras presenten diámetros mayores. Mientras, las otras muestras se agrupan en una sola columna, lo que indica que entre estas no existen diferencias estadísticas significativas entre sus medias.

Adicionalmente, estos valores son menores a los reportados para otras variedades de formio, los que en promedio llegan a ser de 50,0 cN/Tex aproximadamente (Lowe *et. al*, 2009. P. 121; Carr *et. al*, 2005, p. 93). Esto puede ser consecuencia directa de las diferencias en métodos de extracción, forma de cultivo e incluso de las edades de las plantas de las que se obtuvieron las fibras (Honorato y Hernández, 1998, p. 79; Castillo *et. al*, 2008, pp. 1-9).

3.1.4 ELONGACIÓN DE LAS FIBRAS

La elongación de las fibras obtenidas en este método fue determinada con base en el procedimiento indicado en el capítulo 2, sección 2.7.2. Los resultados son reportados en porcentaje de elongación respecto de la separación inicial de las mordazas y se exponen en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Resumen de resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio extraídas por el método de extracción manual

Elongación Promedio [%]	Desviación Estándar [%]	CV [%]	Mín. [%]	Máx. [%]
4,54	0,98	21,49	2,67	7,63

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 240)

El valor promedio encontrado está en el rango reportado por Harris (2000, p. 469), ya que en su estudio de once variedades de formio encontró valores entre 2,5 y 4,0%. Sin embargo, existen otros reportes en los que el valor de esta propiedad no supera el 3% (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Lowe *et. al*, 2009, p. 121). Las diferencias se deben a que los estudios se realizaron con diferentes variedades de esta planta y posiblemente a la diferencia en la edad de las mismas. Por otro lado, se observa que el coeficiente de variación es alto, consecuencia de la gran dispersión de los valores encontrados. Esto podría ser producto de las irregularidades estructurales en las fibras, debido a que las fibras vegetales no son uniformes en toda su extensión, como se indicó anteriormente.

En la figura 3.5 y en las tablas 3.10 y 3.11 se presentan los resultados de los análisis realizados sobre el porcentaje de elongación de las fibras.

En la figura 3.5 se observa que las muestras de los días 3 y 6 presentan baja variabilidad en los valores de esta propiedad y podría decirse que la mayor parte de los valores encontrados están en 4,6% aproximadamente, para ambos casos. Mientras que el 50% de los valores del día 4 se encuentran en el mismo rango que el 75% de los valores de la muestra del día 5, y en ambos casos por debajo de 4,6%, sin embargo sus medias tienden a ser iguales.

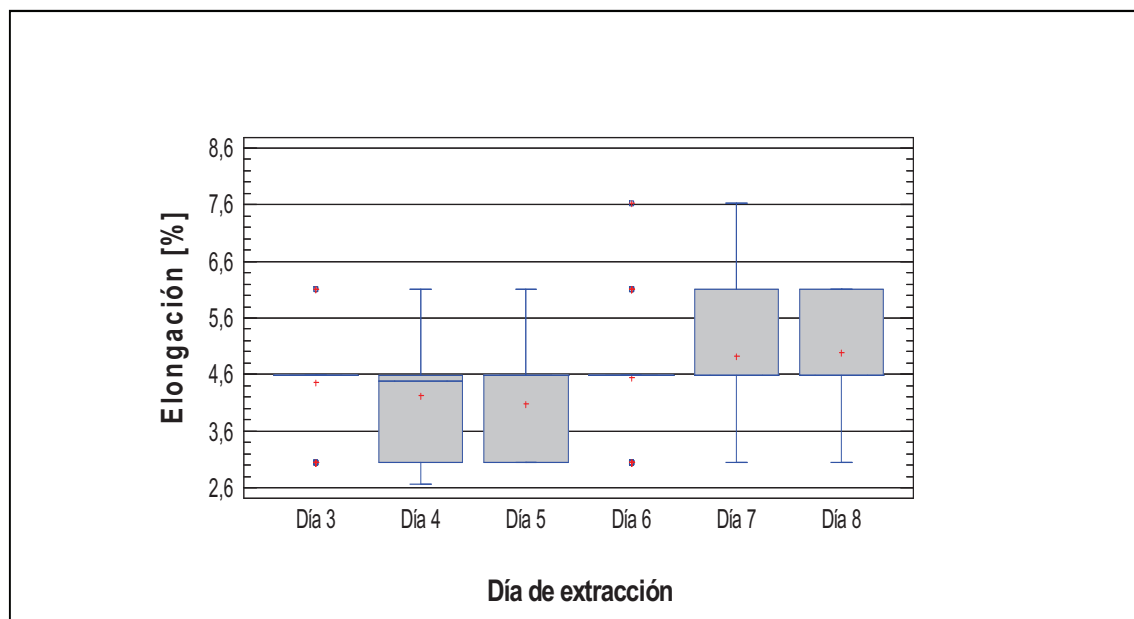


Figura 3.5. Diagrama de cajas del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas con el método de extracción manual

Por otro lado, las medias de los días 7 y 8 son semejantes, sin embargo, la muestra del día 7 presenta mayor dispersión ya que esta tiene el bigote superior. Adicionalmente, se observa que el 75% de los valores de estas muestras, se encuentran sobre el valor de 4,6%, valor en el que están la mayoría de los valores en los días 3 y 6.

Tabla 3.10. Resultados del análisis de varianzas del porcentaje de elongación las fibras de formio obtenidas por extracción manual*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	24,7	5	4,9	5,71	1,0E-04
Intra grupos	193,1	223	0,9		
Total (Corr.)	217,8	228			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.11. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por extracción manual

		Tamaño de muestra	Promedio [%]	Desv. Estándar [%]	Grupos Homogéneos			
Día de extracción	3	30	4,4	0,7	X	X	X	
	4	40	4,2	1,0	X	X		
	5	40	4,1	0,8	X			
	6	40	4,5	1,0		X	X	
	7	39	4,8	0,9			X	X
	8	40	5,0	1,0				X

En la tabla 3.10, el valor P expuesto indica que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las muestras analizadas, para un nivel de confianza del 95%. Los valores del porcentaje de elongación podrían verse afectados por rasgaduras producidas en el montaje de las fibras en las mordazas de la máquina de ensayos universales. Por otro lado, en la tabla 3.11 se observa la existencia de cuatro grupos homogéneos, es decir, grupos de muestras que no presentan diferencias estadísticas significativas entre sus medias. Es posible observar que las muestras 3 y 4 son homogéneas tanto con la muestra 5 como con la muestra 6, sin embargo, las muestras 5 y 6 presentan diferencias estadísticas entre sus medias, razón por la que no se encasillan en un mismo grupo. Además, las muestras de los días 6 y 7 presentan los promedios más altos en esta propiedad. En el caso de la muestra del día 6, su alto promedio en esta propiedad junto con lo expuesto en la tabla 3.1, establecería que este día debe ser tomado como referencia, del proceso de extracción manual, para la selección del método de desfibrado, lo que se expondrá más adelante.

3.2 EXTRACCIÓN POR ENRIADO

En la ejecución de este proceso se cumplieron los lineamientos indicados en el capítulo 2, en la sección 2.5. La longitud de las hojas usadas en este proceso osciló entre 1,27 y 1,87 m. El ancho de éstas estuvo dentro del rango de 0,07 a

0,12 m. El peso referencial para el rendimiento tuvo una variación entre 32,3 y 80,8 g. Las variaciones en los valores presentados se deben a los cuidados que las plantas pudieron recibir durante su desarrollo y a la edad que pudieran tener (Castillo *et. al*, 2008, pp. 1-9).

En las siguientes secciones se presentan los resultados alcanzados con este proceso de extracción.

3.2.1 ENRIADO CON MACHACADO PREVIO

3.2.1.1 Extracción de las fibras

Como se indicó en el capítulo 2, sección 2.5, las hojas sometidas a este proceso fueron golpeadas con una piedra de río antes de introducirlas en el baño y fueron extraídas en pares a partir del día 5 y las fibras obtenidas se lavaron con agua corriente y se golpearon contra una tabla de madera. A continuación se describen los resultados obtenidos en la extracción de las fibras en los días establecidos.

Día 5, los segmentos extraídos, correspondientes a dos diferentes hojas, presentaron diferencias en el machacado, por lo que tuvieron un grado de dificultad diferente en la extracción de las fibras. Uno de los segmentos estaba visiblemente con mayor descomposición, lo que se debe a que presentó un machacado homogéneo en toda su superficie. Las fibras obtenidas presentaron color amarillento y con bajo contenido de materia no deseada.

Día 7, los dos segmentos extraídos presentaron un machacado homogéneo entre ellas pero poco uniforme individualmente, lo que llevó a que la remoción del material no fibroso tenga un grado de dificultad similar. Durante la extracción se evidenció un avance en la descomposición de las hojas debido a la presencia de olor picante. Las fibras tuvieron un tono verdoso y presentaron mayor contenido de materia no deseada que las del día 5.

Día 9, los segmentos correspondientes a este día presentaron un grado de dificultad mayor, en la extracción de las fibras, que las muestras anteriores. Esto debido a que el cardado se realizó dos días después de haberlas sacado del baño

de agua. Sin embargo, y a pesar de presentar un machacado poco uniforme en la superficie de cada hoja, sus fibras tuvieron un color similar a las del día 7 y un contenido de material no deseado también similar.

Día 11, las partes extraídas estaban con descomposición más avanzada, lo que se estableció debido a que el olor fue más penetrante e intenso. El material no fibroso presentó una consistencia blanda, lo que facilitó su remoción y fue “igual” en ambos casos. Las fibras presentaron un tono verdoso igual que en los días 7 y 9, sin embargo, el contenido de material no deseado fue inferior.

Día 13, estas muestras presentaron una descomposición muy avanzada, respecto de las anteriores, lo que se confirmó con la facilidad de remoción del material no fibroso, que en algunos sectores de ambas muestras fue retirado con los dedos únicamente. Adicionalmente, las partes se tornaron de color café pálido, producto de la descomposición. Las fibras obtenidas presentaron una mejoría, tanto en el contenido de materia no deseada como en su color, respecto de los días anteriores, así el color fue amarillento.

En la tabla 3.12 se presentan los resultados de la cualificación de este proceso en forma general, para lo que se consideraron los lineamientos establecidos en el capítulo 2, sección 2.7, en la que se indican los valores numéricos asignados para la cualificación de cada criterio según los parámetros que fueron controlados.

Tabla 3.12. Resultados de la cualificación del proceso de extracción por enriado con machacado previo

		Criterio		
		Facilidad de Remoción de material no fibroso	Contenido de material no deseado	Color de las fibras
Día de extracción	5	2	3	3
	7	2	2	2
	9	2	2	2
	11	3	3	2
	13	3	3	3

En la tabla 3.12 se observa que la remoción del material no fibroso se facilita conforme avanzan los días en el proceso de enriado, esto se debe al avance en la descomposición de la hoja. Con este proceso no fue posible remover en su totalidad en material no fibroso, razón por la que, el valor de tres (3) es el máximo asignado a este criterio.

En cuanto al contenido de material no deseado en las fibras, se observa que sufre variaciones en el transcurso de los días, se presenta un descenso de la calificación, en los días 7 y 9, lo que es producto de un machacado poco uniforme como ya se indicó. En los días 11 y 13 se observa que retoma el valor de tres (3) lo que indica que el contenido de materia no deseada disminuye.

Finalmente, se encuentra la calificación correspondiente al color de las fibras obtenidas. El valor 3 es el asignado a las fibras que presentan un color amarillento, se alcanzan estos valores en los días 5 y 13 como se observa en la figura 3.6.



Figura 3.6. Foto de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

Las fibras obtenidas por este método, en la figura 3.6, no son de color blanco debido al contenido de material no fibroso presente. Además, se observa que las fibras de los días 7, 9 y 11 presentan diferentes tonalidades, lo que es producto de la presencia de material no deseado y pigmentos adherido a ellas en mayor o menor proporción. Adicionalmente, las diferencias en las tonalidades de las fibras podría ser consecuencia de la madurez de las hojas, según lo exponen algunos autores en sus investigaciones (Brescia, 1969, p. 248; Critchfield, 1951, p. 172), pues recomiendan como edad ideal para la cosecha cuatro (4) años y conforme el tiempo se incrementa, las hojas tienden a marchitarse y esto dificulta la remoción del material no fibroso.

3.2.1.2 Título de las fibras

El título de las fibras obtenidas por este método se determinó con los procedimientos establecidos en el capítulo 2, sección 2.7.1. En la tabla 3.13, se exponen los promedios obtenidos para esta propiedad en cada día de extracción.

Tabla 3.13. Resumen de resultados del título de las fibras de formio extraídas por enriado con machacado previo

		Título Promedio [Tex]	Desviación Estándar [Tex]	CV [%]	Mín. [Tex]	Máx. [Tex]
Día de extracción	5	15,8	6,8	43,1	5,5	32,0
	7	12,6	5,5	43,9	4,0	28,0
	9	17,4	7,0	40,4	6,0	37,5
	11	11,0	6,0	54,3	2,5	29,0
	13	11,8	4,6	39,0	3,5	24,0

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 80), para cada muestra diaria

Los valores presentados, en la tabla, corresponden a los promedios de los títulos obtenidos, para cada uno de los días en los que se extrajeron las fibras de las hojas de formio por enriado con machacado previo.

Los valores presentados se encuentran en el rango reportado de 17 ± 7 Tex, para otras variedades de esta planta (Lowe *et. al*, 2009, p. 121). Sin embargo, al compararlos con los valores reportados por Carr *et. al*, 2005, para unas variedades de esta planta, se encontró que los valores obtenidos son aproximadamente un 60 a 70% más bajos, esto podría ser consecuencia de la madurez de las hojas de las que se extrajeron las fibras, ya que durante el desarrollo de la planta existen mayor aglomeración de microfibrillas y en consecuencia se incrementa el título por el incremento de masa. Además, se deben considerar las diferencias en los lugares y formas de cultivo de las plantas (Honorato y Hernández, 1998, p. 79). También, se observa que los promedios varían para los diferentes días, siendo el promedio del día 9 el más alto. Esto podría deberse a la presencia del material no deseado presente en las fibras, debido a un proceso de raspado incompleto o posiblemente a un lavado deficiente de las fibras al finalizar la extracción, lo que afecta directamente a esta propiedad. Sin embargo, no se debe descartar la influencia de la edad de las plantas de las que se cosechó las hojas. Adicionalmente, la disminución de los promedios en los días 11 y 13 podría ser consecuencia de una destrucción de las fibras por su permanencia en el baño de enriado, debido a que los microorganismos durante la maceración pudieron llegar a atacar las fibras alterando su estructura.

Por otro lado, los coeficientes de variación son altos en todos los días, lo que podría ser causado no solo por la variación en los diámetros de las fibras sino también por la presencia de materia no deseada en mayor o menor cantidad en las fibras. También se observa que el coeficiente de variación en el día 11 es el más alto, lo que podría ser consecuencia de una descomposición poco uniforme de la hoja durante el enriado. Esto indicaría que los microorganismos no solo atacaron el material no fibroso, principalmente gomas (García, 1999, p. 24), sino que también llegaron a destruir parte de las fibras. Los valores de título de las fibras obtenidas por el proceso de extracción por enriado con machacado previo se los presenta en el Anexo II.

En la figura 3.7 y en las tablas 3.14 y 3.15 se presentan los resultados de los análisis realizados sobre el título de las fibras de formio obtenidas en este proceso de extracción.

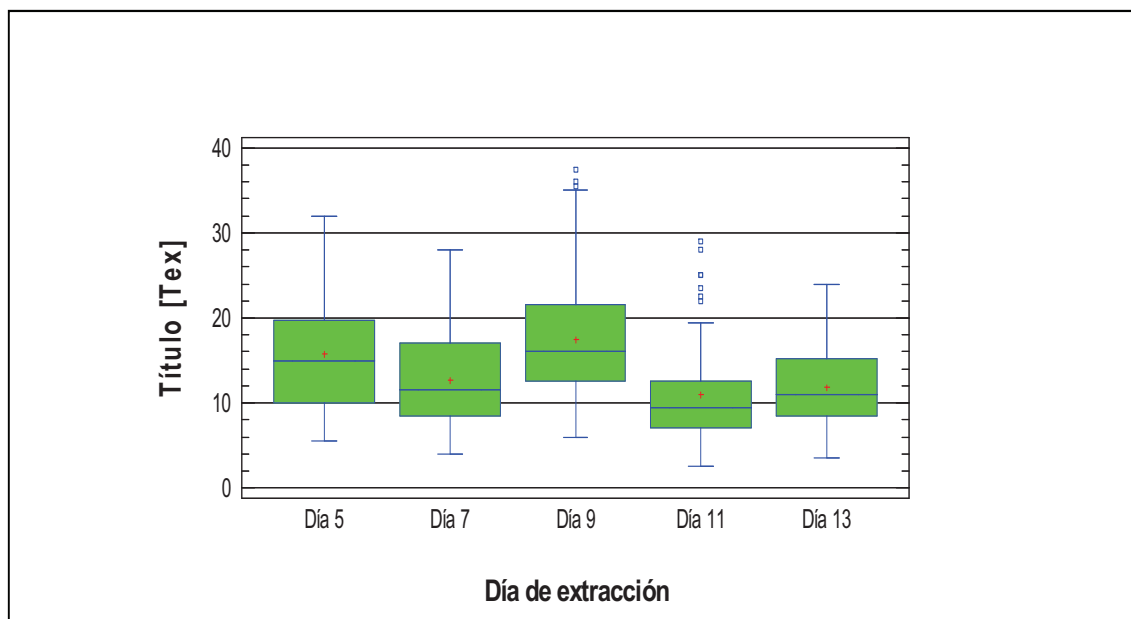


Figura 3.7. Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas en el estudio del proceso de enriado con machacado previo

En la figura 3.7 se aprecia la dispersión de los valores del título de las fibras, ésta es alta en todos los días estudiados e incluso se observa que existen valores extremos en la muestras de los días 9 y 11, estos afectan a las medias (Bowker y Lieberman, 1981, pp. 387-392; Hines y Montgomery, 1993, pp. 8-12). Por otra parte, las muestras de los días 11 y 13 también parecen semejantes, sin embargo, es evidente que los valores extremos del día 11 son influyentes en la media muestral de este día. A pesar de lo indicado, se evidencia que la mayor cantidad de valores de título encontrados para las fibras obtenidas por enriado con machacado previo se mantienen entre 10 y 20 Tex, lo que haría presumir que el tiempo de permanencia en el baño de enriado no es factor influyente sobre esta propiedad.

Además, sin dejar de lado la influencia de la descomposición de los materiales durante el enriado, es posible que el descenso en los valores del título de las fibras obtenidas en el día 11 sean los cuidados culturales que estas recibieron (Honorato y Hernández, 1998, p. 79), siendo los cuidados que reciben las plantas un factor influyente en la composición química de las fibras, en su estructura y por lo tanto en esta propiedad.

Por otro lado, el análisis de varianzas (ANOVA) para esta propiedad mantuvo los lineamientos establecidos en los casos anteriores, es decir, las muestras fueron ajustadas a una distribución normal mediante la eliminación de datos extremos para un nivel de confianza del 95%. Los valores usados en el análisis son los presentados en el Anexo II, con excepción de aquellos que se encuentran sombreados, ya que estos fueron retirados para garantizar la relación, del conjunto de datos, con una distribución normal.

Tabla 3.14. Resultados del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2 345,6	4	586,4	21,38	< 1,0 E-04
Intra grupos	10 369,7	378	27,4		
Total (Corr.)	12 715,3	382			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.15. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

		Tamaño de muestra	Promedio [Tex]	Desv. Estándar [Tex]	Grupos Homogéneos		
Día de extracción	5	77	15,2	6,2			X
	7	79	12,4	5,3		X	
	9	76	16,4	5,7			X
	11	71	9,4	3,9	X		
	13	80	11,8	4,6		X	

En la tabla 3.14 se observa que el valor P es menor que 0,05. Esto indica que las muestras presentan diferencias estadísticas significativas entre sus medias para un nivel de confianza del 95%. Las diferencias son producto de la dispersión de los valores del título encontrados para estas fibras en el interior de una misma

muestra y entre ellas, valores que tienen ligada dependencia al mayor o menor contenido de material no deseado adherido a las fibras obtenidas para cada día; además, no se debe olvidar que este tipo de fibras no son uniformes en toda su extensión, es decir, su sección transversal no tiene una misma dimensión a lo largo de la fibra (Jewel, 2009, pp. 23-27).

Adicionalmente, en la tabla 3.15 se muestra un resumen de grupos homogéneos para el título de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo. En ella se observa la existencia de tres grupos, los que no tienen ninguna relación entre sí, es decir, ninguna de ellas se presenta en dos grupos. Esto contrapone lo expuesto anteriormente, es decir, el tiempo de permanencia podría influir en esta propiedad siempre que no se realice un machacado adecuado y similar en todas las hojas, debido a que como se ha indicado en la sección 3.2.1.1, en algunas hojas era evidente las diferencias en el machacado.

Por otro lado, se aprecia que la muestra del día 11, se encuentra como única en uno de los grupos, por lo que se establece que esta muestra presenta diferencias estadísticas significativas con las demás. Esto podría ser consecuencia de su “bajo” contenido de material no deseado, como se indicó en la tabla 3.12, sin embargo, no se debería descartar que el descenso sea por una mayoritaria presencia de fibras delgadas. Además, el descenso del promedio podría ser resultado de un agresivo avance en la descomposición de las hojas, lo que destruye los materiales gomosos de las fibras alterando así su estructura y peso, lo que influye en forma directa a esta propiedad (Casey, 1991, pp. 167-170; García, 1999, p. 24). Esto podría ser un indicador de que en este día hubo un machacado más uniforme en las hojas de este día respecto de las usadas en el día 13.

3.2.1.3 Tenacidad de las fibras

La tenacidad de las fibras obtenidas por este método se determinó con los procedimientos establecidos en el capítulo 2, sección 2.7.1. Enseguida en la tabla 3.16 se exponen los valores promedios de esta propiedad obtenidos en cada día de extracción.

Tabla 3.16. Resumen de resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo en comparación con la determinada en extracción manual

		Tenacidad Promedio [cN/Tex]	Desviación Estándar [cN/Tex]	CV [%]	Mín. [cN/Tex]	Máx. [cN/Tex]
Día de extracción	5	34,47	13,32	38,65	8,74	66,90
	7	28,16	14,43	51,23	5,77	72,33
	9	35,56	18,02	50,67	11,20	113,71
	11	42,00	14,16	33,72	13,02	73,69
	13	39,53	14,52	36,75	12,30	75,74
Manual		20,71	9,49	45,79	4,53	54,76

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 80), para cada muestra diaria

Los valores reportados de la tenacidad de las fibras, en la tabla 3.16, presentan un incremento respecto del promedio de la tenacidad de las fibras obtenidas por extracción manual. El incremento en los valores de la tenacidad es producto del descenso en el título de las fibras por la menor presencia de material no deseado adherido a ellas y por la presencia de fibras más delgadas o de menor diámetro.

Por otro lado, se observa que las fibras del día 11 son las que presentan el promedio más alto de tenacidad entre los días estudiados en este proceso. Esto de acuerdo a la disminución en el título de las fibras respecto de las obtenidas en los otros días en el proceso de enriado, como se mostró en la tabla 3.12, lo que indicaría que el contenido de material no deseado en estas fibras disminuyó significativamente.

Además, en la tabla 3.16, se observa que el promedio del día 7 es el menor respecto de los demás presentados, esto debido al incremento en el título de las fibras respecto del día 11, como se indica en la tabla 3.15, y es aproximadamente el 60% del valor reportado para una de las variedades estudiadas por Lowe *et. al*, 2009. Esto podría ser fruto de la diferencia en las edades de las plantas de las que se extrajeron las fibras y de los cuidados que las plantas recibieron, ya que estos factores influyen en la composición de las fibras y consecuentemente en sus propiedades. En otros reportes, se indican valores de la tenacidad de las fibras entre 53,0 y 56,0 cN/Tex, aproximadamente (Carr *et. al*, 2005, p. 93), en otras variedades de esta planta, con coeficientes de variación que llegan a ser de

hasta 86%. Los valores individuales correspondientes a cada muestra estudiada en este trabajo, se los presenta en el Anexo II.

En la figura 3.8, en las tablas 3.17 y 3.18 se presentan los análisis realizados para la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo.

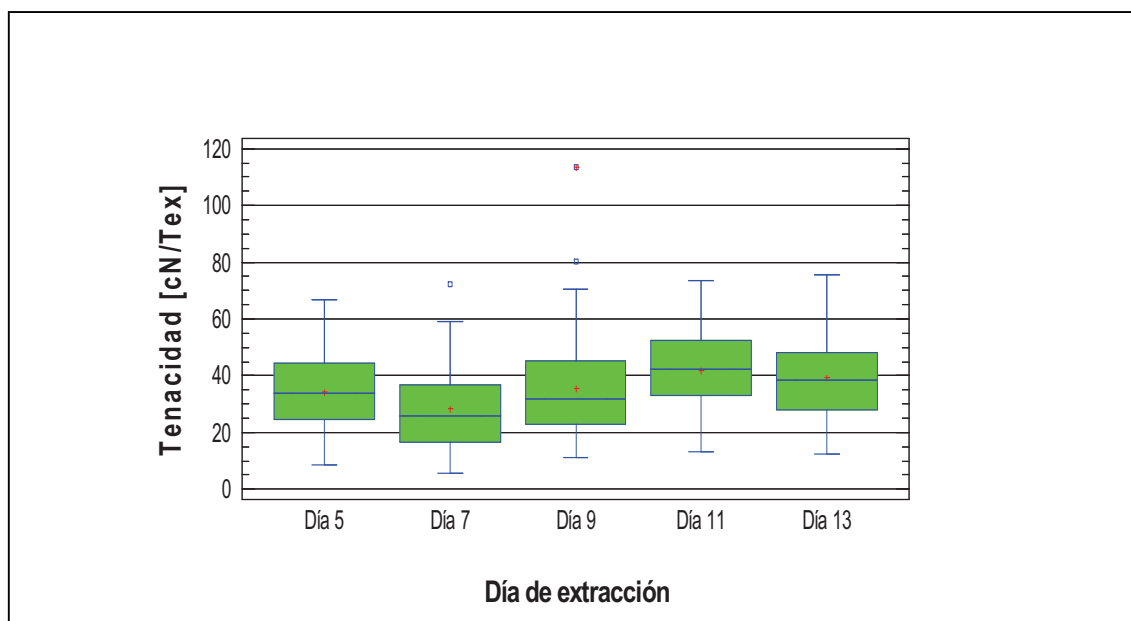


Figura 3.8. Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas con el proceso de enriado con machacado previo

En el diagrama de la figura 3.8 se observa que las dispersiones en las diferentes muestras son semejantes. Además, se aprecia que las muestras de los días 7 y 9 presentan valores extremos, los que afectan en forma directa a las medias, siendo la muestra del día 9 la más afectada, debido a que uno de sus valores extremos se encuentra en 115 cN/Tex, aproximadamente, convirtiéndose en un caso aislado. Este valor es aproximadamente 3 veces mayor que el más alto de los promedios de la tenacidad encontrados en los diferentes días, lo que haría suponer que no hubo una buena liberación en este espécimen, es decir, no fue una fibra la ensayada sino posiblemente un conjunto de ellas. Los valores usados para obtener el diagrama se presentan en el Anexo II. Por otra parte, el análisis de varianzas (ANOVA) se realizó bajo los lineamientos usados en los casos

anteriores, es decir, las muestras estadísticas se ajustaron tal que se garantizó que provienen de una distribución normal.

Tabla 3.17. Resultado del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10 757,8	4	2 689,4	14,23	< 1,0E-04
Intra grupos	73 351,4	388	189,0		
Total (Corr.)	84 109,1	392			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.18. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

		Tamaño de muestra	Promedio [cN/Tex]	Desv. Estándar [cN/Tex]	Grupos Homogéneos		
Día de extracción	5	80	34,5	13,3			X
	7	78	27,2	13,2	X		
	9	75	32,5	13,4			X
	11	80	42,0	14,2		X	
	13	80	39,5	14,5		X	

En la tabla 3.17 se aprecia que el valor P es menor que 0,05, lo que indica que las muestras tienen diferencias estadísticas significativas entre sus medias. Las diferencias posiblemente se deban a la influencia del material no deseado sobre el título de las fibras, ya que el mayor o menor contenido de este en las fibras afecta en forma directa sobre el título incrementándolo, razón por la que la tenacidad disminuiría debido a que estas propiedades mantienen una relación inversa entre ellas. Por otro lado, en la tabla 3.18, se exponen los resultados del análisis de grupos homogéneos en la tenacidad de las fibras de formio obtenidas

por enriado con machacado previo. En esta se observa que existen tres grupos pero no se observa una tendencia entre el día de extracción y la tenacidad promedio alcanzada. Sin embargo, las fibras extraídas los días 11 y 13 presentan los mayores valores de tenacidad, y no hay diferencias estadísticas significativas entre ellas, lo que indicaría que el día 11 es el más recomendado para extraer las fibras por enriado con machacado previo.

3.2.1.4 Elongación de las fibras

La elongación de las fibras extraídas por este método fue determinada con base en el procedimiento indicado en el capítulo 2, sección 2.7.2. Los resultados son reportados como el porcentaje de elongación respecto de la distancia inicial entre las mordazas, la que viene a ser la longitud efectiva de la fibra para el ensayo. En la tabla 3.19 se indican los resultados obtenidos para la elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo, en cada día estudiado.

Tabla 3.19. Resumen de resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio extraídas por enriado con machacado previo

		Elongación Promedio [%]	Desviación Estándar [%]	CV [%]	Mín. [%]	Máx. [%]
Día de extracción	5	4,56	0,89	19,57	3,05	6,11
	7	3,87	1,21	31,32	1,53	6,11
	9	5,00	0,94	18,81	3,05	6,11
	11	4,94	1,12	22,66	3,05	6,11
	13	4,85	1,26	25,94	1,53	7,63

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 80), para cada muestra diaria

Los valores promedio reportados en la tabla 3.19 mantienen relación con el valor encontrado en el proceso de extracción manual, 4,54%. Además, se observa que el promedio del día 7, es el menor de todos, lo que podría ser indicio de un posible daño de las fibras durante el proceso de cardado para la extracción de las mismas, debido a que las fibras son extraídas por raspado y el material de la

carda es más duro que las fibras. Sin embargo, el valor promedio encontrado para el día 7 se encuentra en el rango de valores reportados por Harris (2000), en su estudio de once variedades de formio, para los que encontraron valores entre 2,5 y 4,0% para esta propiedad (p. 478). Por otra parte, en otros reportes esta propiedad no supera el 3% (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Lowe *et. al*, 2009, p. 121). Estas diferencias se deben a que los estudios se realizaron con diferentes variedades de esta planta y por las irregularidades estructurales en las fibras, debido a que las fibras vegetales no son uniformes en toda su extensión, como ya se indicó.

Enseguida, en la figura 3.9 y en las tablas 3.20 y 3.21 se presentan los análisis realizados al porcentaje de elongación de las fibras.

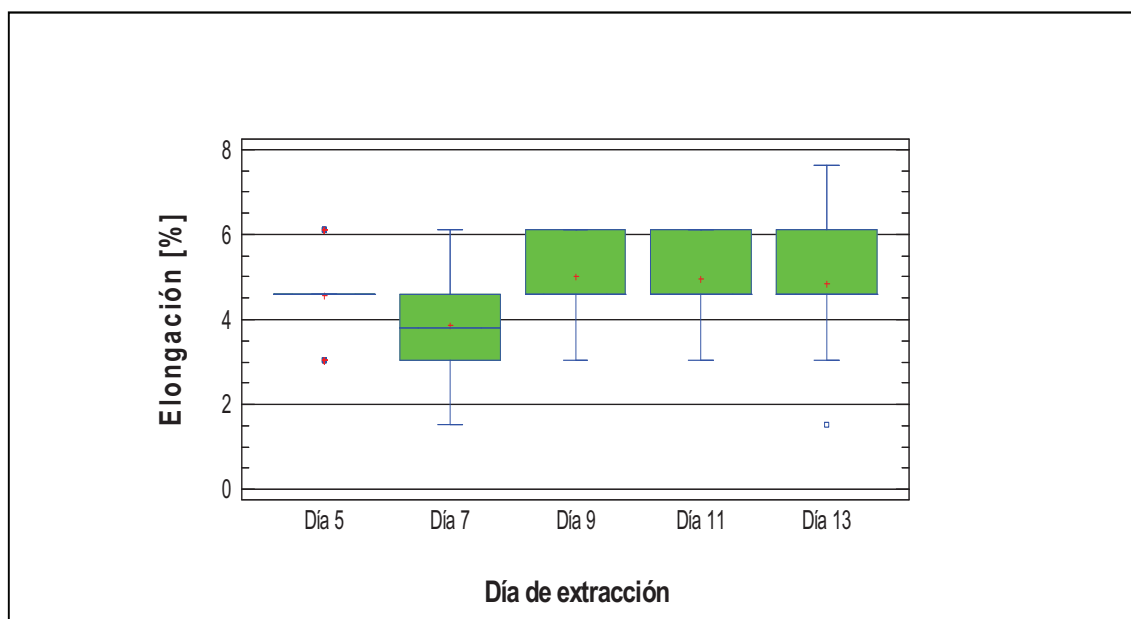


Figura 3.9. Diagrama de cajas del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

En la figura 3.9 se observa la variación de los valores de la elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo. Se aprecia que las muestras de los días 9, 11 y 13 son semejantes y uniformes en sus rangos, mientras que la muestra del día 7, como se indicó, tiende a presentar los valores más bajos para esta propiedad. Además, se aprecia que en la muestra del día 5,

prácticamente no existe dispersión de los valores. También, se observa que las muestras de los días 7 y 13 presentan valores por debajo del 2% en la elongación de las fibras, siendo en el caso de la muestra del día 13 un valor aislado por lo que se presenta como extremo. Estos valores pudieron producirse por daños en las fibras o por exceso en los ajustes durante el montaje para el ensayo.

Tabla 3.20. Resultados del análisis de varianzas del porcentaje de elongación las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	70,2	4	17,5	14,92	< 1,0E-04
Intra grupos	463,2	394	1,2		
Total (Corr.)	533,4	398			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.21. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

		Tamaño de muestra	Promedio [%]	Desv. Estándar [%]	Grupos Homogéneos		
Día de extracción	5	80	4,6	0,9		X	
	7	80	3,9	1,2	X		
	9	80	5,0	0,9			X
	11	80	4,9	1,1			X
	13	79	4,9	1,2		X	X

Por otra parte, en la tabla 3.20, el valor P indica que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las muestras analizadas. Esto podría ser consecuencia de daños en la estructura de las fibras, debido al cardado, ya que se realiza un raspado de las hojas con materiales duros como el acero, lo que destruiría la estructura de las fibras provocando rasgaduras en ellas impidiendo que estas alcancen una mayor elongación.

En la tabla 3.21 se establece la existencia de tres grupos, además, que la muestra del día 7 tiene diferencias estadísticas significativas con las otras muestras, siendo este el promedio más bajo encontrado. Por otro lado, en el tercer grupo se encuentran las muestras de los días 9, 11 y 13, en estas se presentan los promedios más altos de esta propiedad, lo que podría ser indicio de que la permanencia de las hojas en el baño de enriado favorece la elongación de las fibras.

3.2.2 ENRIADO SIN MACHACADO PREVIO

3.2.2.1 Extracción de las fibras

Como se indicó en el capítulo 2, sección 2.5, las hojas que fueron sometidas a este proceso se introdujeron directamente al baño, es decir, únicamente se las midió y se cortaron en dos segmentos. Las partes empezaron a ser extraídas en pares a partir del día 13 y las fibras obtenidas se lavaron con agua corriente y se golpearon contra una tabla de madera. A continuación se describen los resultados obtenidos en la extracción de las fibras en los días establecidos.

Día 13, se extrajeron los dos segmentos destinados para este día, de hojas diferentes. Ambos segmentos presentaron el mismo grado de descomposición, por lo que la extracción de las fibras tuvo un grado de dificultad similar en ambos segmentos. La remoción del material no fibroso en este día no presentó diferencias respecto del proceso de extracción manual. Se apreció materia no deseada, en forma significativa, en las fibras y estas tuvieron un color verde amarillento.

Día 15, los segmentos de hojas diferentes presentaron una descomposición similar a las anteriores, por lo que no se apreció con claridad el avance en la descomposición de las hojas. La remoción del material no fibroso no mostró una marcada diferencia respecto de los segmentos tratados en el día anterior. Por otro lado, la dificultad en la extracción de las fibras en una de las muestras se incrementó debido al ancho de la hoja, ya que las fibras se enredaban con mayor

facilidad que en las hojas angostas. Hubo presencia de materia no deseada y un tono verdoso en las fibras.

Día 18, se aprecia un avance en el proceso de descomposición de los segmentos y se encontraron diferencias en la extracción de las fibras de estos. En uno se presentó una relativa facilidad en la remoción del material no fibroso, mientras en el otro, la remoción del material no fibroso presentó una ligera complicación, es decir, las fibras tuvieron más presencia de material no fibroso. En consecuencia, las fibras del primer segmento tienen un color cercano al blanco y las otras mostraron una tonalidad verde. En general, la remoción del material no deseado se facilita conforme se incrementa la permanencia en el baño de enriado.

Día 20, los segmentos extraídos presentaron avance en su descomposición respecto de los anteriores, el que no es tan acentuado como en el enriado con machacado previo. Uno de los segmentos en su parte media presentó una mancha café como producto de la descomposición. Las fibras de este segmento en la parte media se observaron opacas. La remoción del material no fibroso se facilita respecto de los días anteriores. Las fibras tuvieron una tonalidad verde amarillenta.

Día 22, las muestras correspondientes a este día presentaron una mayor descomposición respecto a sus antecesoras, esto se confirmó por la presencia de olor picante y penetrante en el momento del cardado. La remoción del material no fibroso fue más fácil que en los días anteriores. Hubo dificultad en la extracción de las fibras de uno de los segmentos porque éstas se arrancaban y enredaban con facilidad. Las fibras obtenidas se lavaron con agua corriente para eliminar el olor desagradable que tenían al final de la extracción y tuvieron un color amarillento.

Día 25, los segmentos que fueron extraídos del baño en este día mostraron una coloración café, esto es producto de la descomposición de los mismos. La remoción del material no fibroso se torna más fácil con el avance del estado de descomposición, es decir, conforme avanza el tiempo de permanencia en el baño de enriado. Las fibras obtenidas presentaron una mejoría en el color, éstas son amarillas y alcanzan la valoración que se indica en la tabla 3.22, en la que se muestran los resultados de la cualificación del proceso.

Día 27, los segmentos extraídos este día mostraron una descomposición acelerada respecto del día 25, esto podría ser indicio que el día 25 sea el límite para este tipo de enriado, pues hubo un incremento apreciable en el estado de descomposición respecto de este día. En estos segmentos se observaron manchas cafés a lo largo de la superficie, las que son producto del avance de la descomposición. Por otro lado, la remoción del material no fibroso, como se esperaba, fue más fácil. Esto se debe al incremento en la permanencia en el interior del baño, el que aumenta la descomposición del material no fibroso y en consecuencia la liberación de las fibras. Las fibras presentaron una tonalidad amarillenta.

Día 28, hubo un incremento en el color café en los segmentos de este día. La remoción de material no deseado se facilita con el paso de los días de enriado, como ya se indicó, pero en esta ocasión, las fibras no se liberan con facilidad, son frágiles y se rompen al menor esfuerzo con el paso de la carda. La extracción de las fibras se dificultó debido a la fragilidad de las mismas. El raspado con la carda se tornó agresivo para las fibras, ya que estas se arrancan y se enredan fácilmente. Se apreció una tonalidad amarillenta en las fibras.

Día 32, los segmentos de hojas en este día presentaron una descomposición avanzada, no solo se observaron manchas cafés sino que estas se encontraban mezcladas con otras de color amarillo. La extracción de las fibras se dificulta respecto de los días anteriores debido a la avanzada descomposición. Existe desprendimiento de partes de los segmentos. En las partes desprendidas no fue posible el cardado para liberar las fibras. Las fibras se destruyen fácilmente al paso de la carda. El material no fibroso se acumula en la carda dificultando el raspado de los segmentos de hoja. Las fibras tuvieron un tono amarillo.

En la tabla 3.22 se presentan los resultados de la cualificación de este proceso en forma general, para lo que se consideraron los lineamientos establecidos en el capítulo 2, sección 2.7, en la que se indican los valores numéricos asignados para la cualificación de cada criterio.

En la tabla 3.22 se observa que la facilidad de remoción del material no fibroso mejora conforme avanzan los días en el proceso de enriado. El avance en la

descomposición de los segmentos de las hojas es menos agresivo que en el enriado con machacado previo, debido a que los segmentos de las hojas no tienen golpes ni grietas provocadas. El avance en la descomposición de la hoja, incrementa la facilidad de remoción del material no fibroso, razón por la que el valor numérico de su calificación es incrementado, hasta el valor de tres (3), con el pasar de los días a excepción del día 32, en el que se presenta un descenso debido a la dificultad en el cardado.

Tabla 3.22. Resultados de la cualificación del proceso de extracción por enriado sin machacado previo

		Criterio		
		Facilidad de Remoción de material no fibroso	Contenido de material no deseado	Color de las fibras
Día de extracción	13	2	2	2
	15	2	2	1
	18	2	2	2
	20	2	2	2
	22	3	3	3
	25	3	2	3
	27	3	2	3
	28	3	2	3
	32	2	2	3

En cuanto al contenido de material no deseado, se observa que existe incremento en el valor únicamente en la muestra del día 22, esto debido a que el contenido de material no deseado bajó respecto de las otras fibras. Sin embargo, se aprecia que las fibras obtenidas en los diferentes días mantienen una buena similitud en estas características.

Finalmente, en la tabla 3.22 se encuentra la calificación correspondiente al color de las fibras obtenidas. El valor 3 es el asignado a las fibras que presentan un color amarillento siendo el más cercano al color blanco que deben presentar estas

fibras (Brescia, 1969, p. 248). Se alcanzan estos valores en las fibras obtenidas a partir del día 22 como se observa en la figura 3.10, en la que se aprecia que las fibras mantienen una tonalidad verde en las muestras hasta el día 20, luego de lo que las fibras tienen una coloración “amarillenta”. Esto como resultado de una menor presencia de materia no deseada y a una mejor liberación de las fibras, sin embargo, no hay que descartar el cambio de pigmentación del material no fibroso debido a la descomposición en el proceso de enriado.



Figura 3.10. Foto de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo

Además, en la figura 3.10, se observa que las fibras obtenidas en los días 13, 22 y 25 tienen una coloración poco verdosa respecto de las otras obtenidas en este proceso. En forma general, el aspecto visual de las fibras obtenidas por este proceso mejora lo alcanzado con el método de extracción manual.

Finalmente, se establece como día recomendado para este proceso el día 22, ya que en este se alcanzan los valores más altos en la evaluación del proceso como se observó en la tabla 3.22, los que se utilizarán posteriormente.

3.2.2.2 Título de las fibras

El título de las fibras obtenidas por el proceso de enriado sin machacado previo se determinó con los procedimientos establecidos en el capítulo 2, sección 2.7.1. En la tabla 3.23 se presentan los resultados de los promedios diarios del título de las fibras de formio extraídas con este proceso.

Tabla 3.23. Resumen de los resultados obtenidos del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo

		Título Promedio [Tex]	Desviación Estándar [Tex]	CV [%]	Mín. [Tex]	Máx. [Tex]
Día de extracción	13	11,8	5,6	47,7	3,5	32,5
	15	11,4	6,0	52,7	2,0	28,0
	18	11,3	5,7	50,3	2,0	30,5
	20	12,8	6,8	53,1	3,0	32,5
	22	9,7	5,7	58,2	2,0	30,5
	25	12,1	5,7	47,1	3,5	27,0
	27	16,7	9,6	57,3	4,0	43,5
	28	12,6	7,3	57,7	2,0	46,5
	32	14,1	6,7	47,5	3,0	27,5

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 80), para cada muestra diaria

En la tabla 3.23, se observa que de los valores presentados, el indicado para el día 22 es el menor entre los promedios de cada muestra. Esto se puede explicar con ayuda de los valores presentados en la tabla 3.22, pues en ella se establece que una de las muestras presenta menor contenido de material no fibroso y en consecuencia los valores del título de las fibras son bajos, respecto de las otras muestras.

Por otra parte, el promedio del título de las fibras obtenidas en el día 27 es el más alto, posiblemente debido a la presencia de material no fibroso adherido a las fibras. Sin embargo, los valores presentados son cercanos al reportado para tres de las variedades de formio, el que es 17 Tex (Lowe *et. al*, 2009, p. 121) y

además son aproximadamente una cuarta parte de los valores encontrados para las variedades conocidas como Arawa, Makaweroa y Tapamangu reportados por Carr *et. al*, 2005 (p. 95). Los valores del título obtenidos para las fibras de formio extraídas por enriado sin machacado previo se exponen en el Anexo II.

Respecto de los coeficientes de variación, estos son altos y semejantes a los obtenidos en los anteriores procesos. Estos valores indican que existe una dispersión considerable de los valores individuales respecto de sus promedios, lo que puede ser fruto del mayor o menor contenido de material no fibroso adherido a las fibras, sin embargo, no se debe descartar la influencia de los cuidados que recibieron las plantas, ni tampoco la influencia de los sitios donde estas fueron cultivadas ya que estos factores afectan el desarrollo de las plantas y en consecuencia la estructura de las fibras. (Castillo *et. al*, 2008, pp. 1-9; Honorato y Hernández, 1998, p. 79).

En la figura 3.11 y en las tablas 3.24 y 3.25, se muestran los resultados de los análisis realizados a los valores del título de las fibras obtenidas por este proceso de extracción.

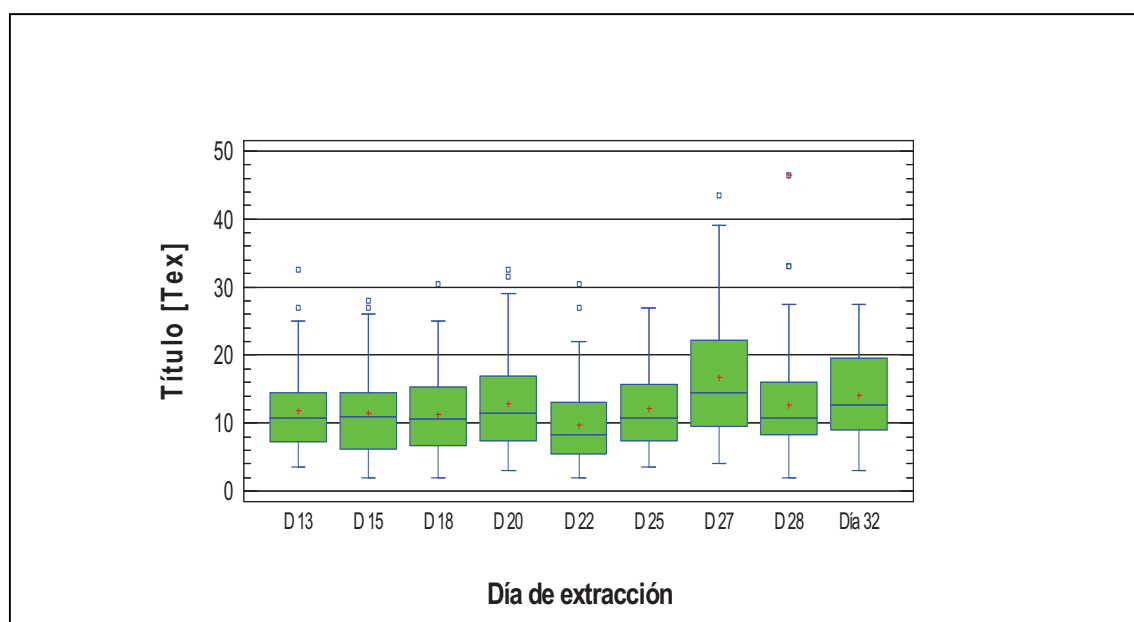


Figura 3.11. Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo

En la figura 3.11 se aprecia la variación del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo para cada día de extracción. Se observa que existen valores extremos en casi todas las muestras, los que afectan los promedios del título de las fibras para cada día. Además, los valores extremos son superiores en los días 27 y 28, y podrían ser producto de fibras con alto contenido material no fibroso, sin embargo, valores semejantes se han reportado en los procesos anteriores. Estos podrían ser retirados para la realización del análisis de varianzas. Por otro lado, se aprecia que existe un incremento significativo en el promedio del día 27, incremento que sería consecuencia de valores por encima de 30 Tex, valor que en promedio es el límite superior que se encontró para esta propiedad en este proceso. Adicionalmente, se observa que esta muestra es la que presenta mayor dispersión en sus valores, debido posiblemente al contenido de material no fibroso presente en las fibras ensayadas.

También, se observa que las muestras hasta el día 20 y las muestras del día 25 y 28, mantienen una tendencia similar, con valores por encima de 20 Tex, con dispersiones considerables de sus valores individuales y con promedios aproximadamente similares y de alrededor de 11 Tex, por lo que se supondría que esta propiedad no se ve afectada por este proceso de enriado.

Para la ejecución del análisis de varianzas (ANOVA), las muestras fueron ajustadas a una distribución normal con nivel de confianza del 95%, para lo que se retiraron valores extremos o atípicos presentes en las muestras.

Tabla 3.24. Resultados del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1 485,2	8	185,6	6,49	< 1,0E-04
Intra grupos	19 307,3	675	28,6		
Total (Corr.)	20 792,5	683			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.25. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo

		Tamaño de muestra	Promedio [Tex]	Desv. Estándar [Tex]	Grupos Homogéneos		
Día de extracción	13	75	10,8	4,2		X	
	15	78	11,0	5,5		X	
	18	79	11,0	5,2		X	
	20	75	11,7	5,3		X	
	22	76	8,9	4,5	X		
	25	76	11,4	5,0		X	
	27	69	13,7	6,2			X
	28	76	11,4	5,0		X	
	32	80	14,1	6,7			X

En la tabla 3.24, el valor P indica que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las muestras analizadas y las diferencias son producto de los valores de título encontrados para cada fibra, ya que estos varían según el contenido de material no fibroso presente en ellas, así como de su grosor. También podrían ser fruto de la conformación estructural de las fibras, es decir, de la aglomeración de las microfibrillas, ya que incrementaría el peso en una misma longitud de fibra y en consecuencia se incrementaría el título, y durante el proceso de enriado se descomponen gomas y hemicelulosas (Casey, 1991, pp. 167-170; García, 1999, p. 24), que permiten la unión de las microfibrillas, lo que las separa y en consecuencia el título decrecería. Además, hay que tener presente que los valores extremos afectan en la determinación de la media (Hernández *et. al*, 1994, pp. 383-391).

Por otra parte, en la tabla 3.25 se presenta el resultado del análisis de grupos homogéneos para la título de las fibras extraídas por este proceso. En esta se observa que la muestra del día 22 tiene diferencias estadísticas significativas con las demás muestras, esto debido a una disminución en el contenido de materia no deseada como se estableció en la tabla 3.22, por lo que este sería un indicio de que este día es favorable para este tipo de enriado. Además, no existen diferencias estadísticas significativas entre las muestras de los días 13, 15, 18,

20, 25 y 28, entonces, al encontrarse que la mayor parte de las muestras son homogéneas, es posible descartar la influencia del proceso sobre esta propiedad.

Adicionalmente, a partir del día 22 se observa que los valores del título sufren variaciones considerables, es así que en el día 22 se aprecia un descenso en los valores de esta propiedad. Este descenso podría ser consecuencia de un bajo contenido de materia no deseada en las fibras debido a un posible avance en la descomposición respecto de los días anteriores, como ya se indicó. Por otro lado, en los días 27 y 32 se observa que hay un incremento en los valores del título de las fibras respecto de las otras muestras estudiadas. Esto indicaría que las fibras en estos días presentan mayor contenido de material no fibroso pese a que éste se desprende con mayor facilidad gracias a la maceración por el proceso de enriado.

3.2.2.3 Tenacidad de las fibras

La tenacidad de las fibras obtenidas por enriado sin machacado previo se determinó con los procedimientos establecidos en el capítulo 2, sección 2.7.1 y en esta sección se presentan los resultados alcanzados, los mismos se encuentran en la tabla 3.26. Los promedios presentados se obtuvieron con los valores individuales expuestos en el Anexo II.

Los valores mostrados en la tabla 3.26 indican que existe un incremento en los promedios de la tenacidad de las fibras respecto de las fibras obtenidas por el proceso de extracción manual. Sin embargo, los valores de los días 13, 28 y 32 son los más bajos encontrados para las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo y además son aproximadamente un 60% de los valores reportados para algunas de las variedades de esta planta (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Lowe *et. al*, 2009, p. 121). Por otra parte, los valores promedio de los días 15 al 27 son semejantes a los valores reportados para una de las variedades estudiadas por Lowe *et. al*, 2009. Además, estos valores son entre un 20 a 25% menores a los reportados para las variedades Arawa, Makaweroa y Tapamangu (Carr *et. al*, 2005, p. 93).

Tabla 3.26. Resumen de los resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo en comparación con la determinada en extracción manual

		Tenacidad Promedio [cN/Tex]	Desviación Estándar [cN/Tex]	CV [%]	Mín. [cN/Tex]	Máx. [cN/Tex]
Día de extracción	13	33,72	14,86	44,05	11,60	85,81
	15	39,67	16,99	42,83	13,13	96,90
	18	47,85	22,08	46,13	13,78	146,03
	20	45,97	18,05	39,27	13,04	92,10
	22	47,35	18,98	40,09	12,10	122,60
	25	47,53	15,04	31,64	19,73	107,76
	27	44,09	19,18	43,50	13,93	152,18
	28	36,84	20,82	56,51	7,44	159,55
	32	32,08	14,56	45,38	11,73	77,44
Manual	20,71	9,49	45,79	4,53	54,76	

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 80), para cada muestra diaria

Los valores indicados en la tabla anterior establecen que las fibras obtenidas en este proceso tienen una relación carga/título mayor que las fibras extraídas manualmente. Esto debido a la reducción en los valores del título de las fibras, tal como se indicó en la sección 3.2.2.2, en la que se habló del título de las fibras obtenidas en este proceso.

Respecto de los coeficientes de variación, estos son altos como en los casos anteriores pero éstos son semejantes al coeficiente de variación de la tenacidad de las fibras obtenidas por extracción manual. Debido a la alta dispersión que tienen los valores individuales, lo que se debe a la cantidad de materia no deseada y a que las fibras naturales presentan variaciones en sus dimensiones en toda la extensión de estas, como se indicó anteriormente.

En la figura 3.12 y en las tablas 3.27 y 3.28 se presentan los resultados de los análisis realizados sobre esta propiedad para las fibras de formio obtenidas mediante enriado sin machacado.

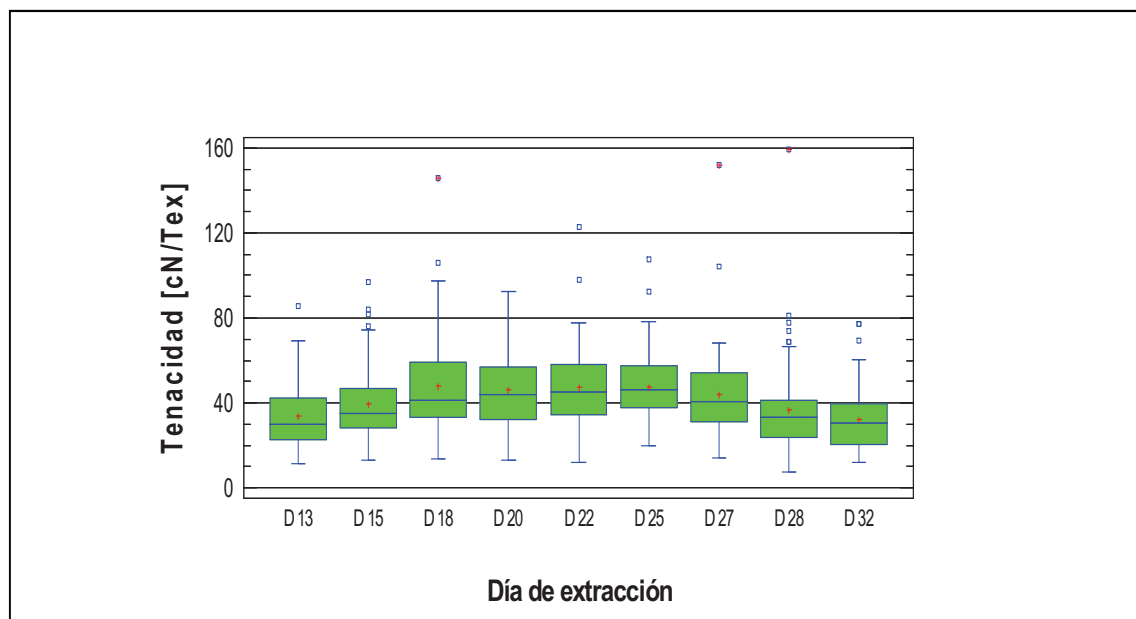


Figura 3.12. Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado

En la figura 3.12 se observa la variabilidad de la tenacidad de las fibras de formio extraídas por enriado sin machacado. En forma general, las muestras mantienen una semejanza en la dispersión de sus valores, sin embargo, en todas las muestras, excepto en la del día 20, se aprecian valores extremos por encima de 100 cN/Tex, estos son valores poco comunes para esta propiedad. La presencia de estos valores podría ser fruto de una aglomeración de fibras unidas entre sí, es decir, que no se liberaron adecuadamente. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de la existencia de fibras que puedan presentar esos valores debido a que las fibras más cercanas a la base tienden a ser más gruesas, lo que incrementaría su título y posiblemente su resistencia a fuerzas de tensión. Los valores extremos observados en la figura son los que serán retirados para la ejecución del análisis de varianzas, tal que se garantice que las muestras provienen de una distribución normal con un nivel de confianza del 95%.

Adicionalmente, se observa que a partir del día 27 existe un descenso en los valores de tenacidad de las fibras. Éste podría ser consecuencia del tiempo de permanencia en el baño de enriado, debido a que como se ha indicado, durante el proceso de maceración los microorganismos atacan principalmente compuestos gomosos, pero pudo existir además daño de las fibras por ataque de

microorganismos. Esto afectaría la estructura de las fibras y en consecuencia se tienen los descensos en las propiedades (Casey, 1991, pp. 167-170; García, 1999, p. 24). Además se aprecia que los valores de tenacidad tienden a incrementarse hasta alcanzar el día 18, luego de lo que mantienen una aparente estabilidad hasta el día 27 y finalmente existe un descenso en los valores a partir del día 28. El incremento podría ser consecuencia del descenso en la presencia de material no deseado en las fibras, ya que este influye en el título de las fibras. Sin embargo, no se debe descartar que sea producido por un reordenamiento de las cadenas de hemicelulosas, debido a que por su flexibilidad y presencia de grupos hidroxílicos, las hemicelulosas tienden a competir con las moléculas de agua por los espacios libres en las cadenas de celulosa, lo que incrementa las uniones de hidrógeno por unidad de área. (Casey, 1991, p. 168). Si se compara con el proceso de enriado con machacado previo, es evidente que este tipo de enriado podría tener alguna incidencia en la tenacidad de las fibras.

Igual que en los análisis anteriores, las muestras se ajustaron, mediante la eliminación de valores extremos, a una “distribución normal” con nivel de confianza del 95%.

Tabla 3.27. Resultado del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	28 131,3	8	3 516,4	18,80	< 1,0E-04
Intra grupos	126 061,6	674	187,0		
Total (Corr.)	154 192,8	682			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

En la tabla 3.27 se aprecia que el valor P es menor que 0,05, lo que indica que las muestras tienen diferencias estadísticas significativas entre sus medias. Las diferencias son producto de los diferentes valores de tenacidad encontrados en los diferentes días de extracción, los que son bastante dispersos entre las

muestras. Debido posiblemente, al descenso en el contenido de materia no deseada en las fibras en algunos casos y a su incremento en otros.

Tabla 3.28. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo

Día de extracción		Tamaño de muestra	Promedio [cN/Tex]	Desv. Estándar [cN/Tex]	Grupos Homogéneos		
Día de extracción	13	75	31,3	11,7	X		
	15	73	35,9	12,1		X	
	18	73	42,9	14,5			X
	20	80	46,0	18,0			X
	22	78	45,7	16,1			X
	25	78	46,2	12,5			X
	27	78	41,9	13,2			X
	28	71	31,4	10,6	X		
	32	77	30,4	12,0	X		

En la tabla 3.28 se presentan los resultados del análisis para establecer que grupos tienen relación entre sus medias. En la tabla se observa que existe una relación entre los grupos de muestras de la tercera columna, en la que se encuentran la mayor parte de las muestras estudiadas en este proceso. Este grupo de muestras son las que presentan los promedios más altos para esta propiedad y se aprecia que la muestra del día 22 es una de ellas, lo que podría ser una consecuencia directa del descenso en el título de las fibras en este día, como se indicó en las tablas 3.22 y 3.25. Por otro lado, se observa que la muestra del día 15 es la única que presenta diferencias estadísticas significativas con todas las otras muestras, lo que podría ser consecuencia del contenido de materia no deseada presente en las fibras, como se indicó anteriormente.

Entonces, con este análisis y los resultados anteriores, se podría recomendar que este tipo de enriado se realice hasta el día 22 para alcanzar una liberación adecuada de las fibras.

3.2.2.4 Elongación de las fibras

Para determinar esta propiedad se trabajó con base en el procedimiento indicado en el capítulo 2, sección 2.7.2. Los resultados son expresados como porcentaje de elongación respecto de la distancia inicial entre las mordazas y son presentados en la tabla 3.29. Los valores encontrados en los ensayos son expuestos en el Anexo II.

Tabla 3.29. Resumen de los resultados del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado

		Elongación Promedio [%]	Desviación Estándar [%]	CV [%]	Mín. [%]	Máx. [%]
Día de extracción	13	5,07	0,87	17,11	3,05	7,63
	15	4,49	1,19	26,40	3,05	7,63
	18	5,28	1,28	24,30	1,53	7,63
	20	5,06	0,99	19,58	3,05	6,11
	22	4,67	1,17	25,11	1,53	7,63
	25	5,01	1,06	21,18	0,98	7,63
	27	5,04	0,86	16,99	3,05	6,11
	28	4,62	1,02	22,02	3,05	7,63
	32	4,18	1,30	31,17	1,53	6,11

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 80), para cada muestra diaria

En la tabla 3.29 se observan los valores promedios encontrados del porcentaje de elongación de las fibras de formio producto del proceso de enriado sin machacado. En forma general, los valores promedio del porcentaje de elongación no presentan variaciones drásticas entre los diferentes días de extracción, lo que podría ser indicio de que este proceso de enriado no afecta a esta propiedad en forma drástica, es decir, el tiempo de permanencia en el baño de enriado no influye en la degradación de las fibras. Sin embargo, no deben descartarse los posibles daños en las fibras debido al ataque de los microorganismos.

Los valores promedio encontrados se encuentran cerca del rango de valores reportados Harris (2000), en su estudio de once variedades de formio, para los

que encontró valores entre 2,5 y 4,0% para esta propiedad (p. 478). Sin embargo, en otros reportes, los valores de esta propiedad no supera el 3% (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Lowe *et. al*, 2009, p. 121). Estas diferencias se deben a que los estudios se realizaron con diferentes variedades de esta planta.

En la figura 3.13 y las tablas 3.30 y 3.31 se presentan los resultados de los análisis realizados al porcentaje de elongación de las fibras de formio extraídas por el proceso de enriado sin machacado previo.

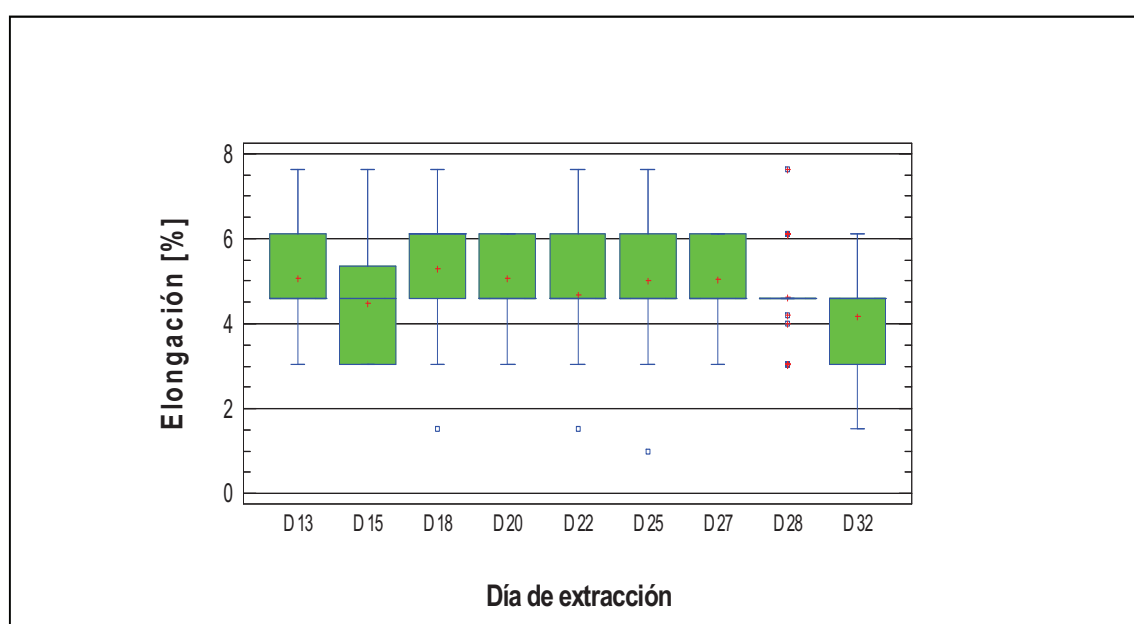


Figura 3.13. Diagrama de cajas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado

En la figura 3.13 se observa la variación del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado, la cual es similar en la mayoría de las muestras. Se aprecia que en los días 15 y 32 existe descenso en los valores de esta propiedad pero en el día 32 es más notoria la diferencia, lo que podría ser consecuencia de un daño producido en las fibras debido al ataque microbiano durante el proceso de enriado. Además, la muestra del día 28 no presenta dispersión en los valores encontrados para esta propiedad y también se observa que algunas muestras presentan valores extremos, los que afectan la determinación de las medias (Hernández *et. al*, 1994, pp. 383-391).

Para realizar el análisis de varianzas, las muestras estadísticas fueron ajustadas tal que se aseguró que provienen de una distribución normal con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 3.30. Resultado del análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	82,1	8	10,3	9,08	< 1,0E-04
Intra grupos	798,1	706	1,1		
Total (Corr.)	880,2	714			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.31. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado previo

		Tamaño de muestra	Promedio [%]	Desv. Estándar [%]	Grupos Homogéneos			
Día de extracción	13	78	5,0	0,8			X	X
	15	80	4,5	1,2	X	X		
	18	79	5,3	1,2				X
	20	80	5,1	1,0				X
	22	79	4,7	1,1		X	X	
	25	79	5,1	1,0				X
	27	80	5,0	0,9			X	X
	28	80	4,6	1,0		X		
	32	80	4,2	1,3	X			

En la tabla 3.30, el valor P es menor que 0,05, lo que establece que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las muestras analizadas. Diferencias que son fruto de la posible diferencia en las edades de las plantas de las que se extrajeron las fibras y del tiempo de permanencia en el interior del baño de enriado, siendo esta última la de mayor peso, debido a que

como se ha explicado, los microorganismos presentes en el baño de enriado posiblemente atacaron tanto al material no fibroso como a las fibras y en consecuencia la estructura de estas últimas pudo ser afectada produciendo las variaciones en los valores de esta propiedad.

Por otra parte, en la tabla 3.31 se presenta el resumen del análisis de grupos homogéneos realizado para el porcentaje de elongación de las fibras, en ella se indica que existen cuatro grupos homogéneos entre las muestras analizadas. También, se aprecia que esta propiedad varía significativamente en el transcurso del estudio de este proceso, es decir, existen descensos e incrementos en forma sucesiva, lo que establece un comportamiento en forma de dientes de sierra, esto podría ser consecuencia de la estructura de las fibras, ya que como se ha indicado, ésta no es uniforme en toda la extensión de una fibra y menos entre las fibras obtenidas. Sin embargo, los promedios son los más altos entre los encontrados para esta propiedad en los procesos anteriores, lo que podría ser indicio de que este tipo de enriado si influye en esta propiedad, debido posiblemente a que por el tiempo de permanencia en el baño, las cadenas de hemicelulosas sufren un reordenamiento al competir con las moléculas de agua por los espacios libres en las cadenas celulósicas como se indicó anteriormente. Se observa también, que a partir del día 27 se produce un descenso significativo hasta alcanzar el día 32, lo que sería consecuencia del ataque microbiano a las fibras, destruyendo básicamente materiales gomosos y alterando la estructura de las fibras.

3.3 EXTRACCIÓN MECÁNICA POR DESCORTEZADO

Para la ejecución de este proceso de extracción, se realizaron pruebas preliminares con la descortezadora de cabuya que se encontraba en la planta piloto del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB), como se indicó en la sección 2.6. El descortezado con una separación mesa – paletas de 0,43 mm, fue incompleto, es decir, el material no fibroso no se desprendió totalmente. Conforme se redujo la luz entre la mesa fija y las paletas, la liberación de las fibras mejoraba. Se estableció como luz adecuada 0,30 mm, es decir, la

separación mesa – paletas, como se indica en la figura 3.14, ya que con esta se obtuvieron fibras razonablemente libres y limpias, mientras que con separaciones inferiores las fibras se destruyeron.

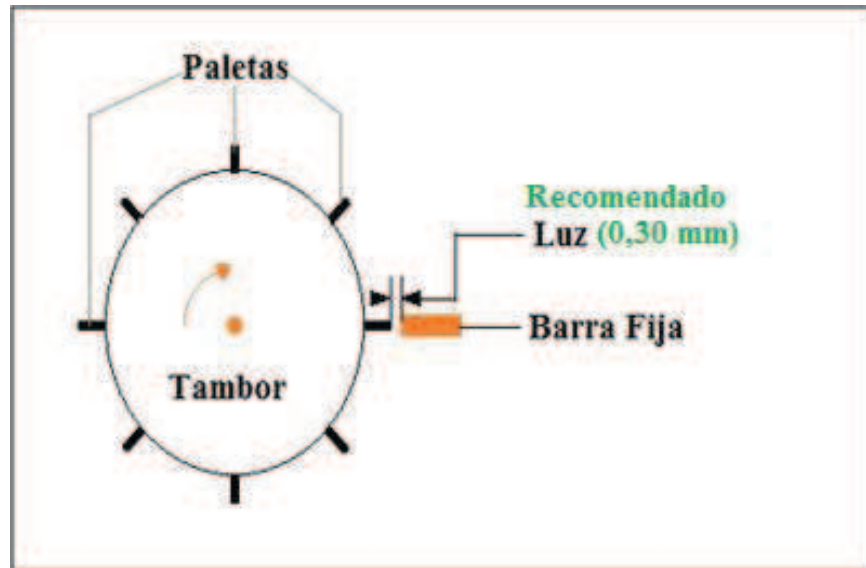


Figura 3.14. Esquema de la separación de la mesa y paletas usada en la extracción mecánica de las fibras de formio

3.3.1 EXTRACCIÓN DE FIBRAS

En este proceso, se realizaron los procedimientos descritos en la metodología experimental en la sección 2.6. Las hojas fueron tratadas el mismo día, es decir, las hojas se cosecharon y fueron sometidas a los tratamientos preliminares de limpieza, pesado y corte antes del proceso de desfibrado, el cual se lo realizó el mismo día, debido a que este método reduce drásticamente el tiempo de procesado de las hojas. Las hojas cosechadas presentaron longitudes entre 1,29 y 1,73 m, con ancho de hasta 0,12 m en la parte media de la hoja. El peso de la parte usada en la extracción de las fibras presentó valores entre 40,0 y 58,0 g.

Una vez establecida la separación mesa - paletas, se extrajeron las fibras de varias hojas, alimentándolas a la descortezadora de distintas maneras. Se determinó que las hojas deben ser alimentadas desde su base hacia la punta de espalda y con la parte posterior de la hoja hacia arriba. Varias hojas fueron

procesadas en pocos minutos. Las fibras obtenidas son más dóciles y manejables respecto de las extraídas con los procesos anteriores. Al salir de la descortezadora, las fibras presentaron una tonalidad algo verdosa, similar a las de los otros procesos, sin embargo, después de lavarlas con agua corriente, las fibras resultantes son blancas respecto de las obtenidas en los procesos anteriores. Una vez secas, las fibras fueron cardadas para retirar el material no fibroso presente, lo que no fue posible lograrlo completamente.

La cualificación realizada al proceso de descortezado mecánico se presenta en la tabla 3.32, y se mantuvieron los criterios de cualificación realizados a los otros procesos estudiados.

Tabla 3.32. Resultados de la cualificación del proceso de extracción mecánica por descortezado

	Criterio		
	Facilidad de Remoción de material no fibroso	Contenido de material no deseado	Color de las fibras
Descortezado	3	4	4

En la tabla se presentan los resultados de la evaluación del método de extracción mecánica por descortezado. Por un lado, la facilidad de remoción del material no fibroso tiene un valor de tres (3), debido a que la separación mesa - paletas se mantuvo durante los ensayos y no se alcanza una remoción total del material no fibroso, sin embargo es mejor que en los procesos anteriores.

El contenido de material no fibroso adherido en las fibras es prácticamente despreciable, ya que una vez extraídas, las fibras son lavadas y esta acción remueve ese material. Los residuos de ese material son retirados por el cardado de las fibras secas.

Con respecto al color de las fibras, este es blanco, el esperado para estas fibras según lo descrito por Brescia (1969), como se observa en la figura 3.15, razón por

la que el color se calificó con el valor más alto en la escala propuesta, como se indica en la tabla 3.32. Esto sería indicio de que las fibras poseen poca cantidad de material no deseado, sin descartar su presencia y que los pigmentos propios de la planta no se fijaron en las fibras.



Figura 3.15. Fotografía de las fibras de formio obtenidas por descortezado (inferior) en contraste con las fibras extraídas con el proceso de enriado sin machacado

En la figura 3.15 se observan las fibras extraídas por descortezado mecánico en contraste con las fibras obtenidas por enriado sin machacado; en esta se observa en la parte inferior, las fibras de formio obtenidas por descortezado, las mismas que presentan un color blanco en comparación con sus similares extraídas por el proceso de enriado sin machacado. Estas últimas tienen tonalidades algo verdosas. Las fibras producto del descortezado se observan más dóciles y manejables, por lo que estas son más agradables al tacto.

3.3.2 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS

Igual que en los procesos anteriores, se estudiaron las propiedades de las fibras como el título, tenacidad y la elongación que estas presentan al ser sometidas a una fuerza de tensión.

El título de las fibras se obtuvo siguiendo los procedimientos descritos en el capítulo 2, en la sección 2.7.1. El título promedio encontrado para las fibras producto este método de extracción se presenta en la tabla 3.33.

Tabla 3.33. Resumen de resultados del título de las fibras de formio obtenidas por el método de extracción mecánica por descortezado

Título Promedio [Tex]	Desviación Estándar [Tex]	CV [%]	Mín. [Tex]	Máx. [Tex]
6,7	2,3	33,7	2,5	13,3

$$\bar{X} \pm \sigma (n = 160)$$

La tabla 3.33 presenta el valor promedio del título de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico, este es el más bajo para esta propiedad entre los valores promedios encontrados para los procesos de extracción estudiados. Este valor es una tercera parte de los valores reportados para otras variedades de esta planta, que en promedio se encuentran alrededor de 17 Tex (Lowe *et. al*, 2009, p. 123). Además, el valor presentado es aproximadamente una quinta parte de los valores reportados para las variedades Arawa, Makaweroa y Tapamangu (Carr *et. al*, 2005, p. 95). La caída drástica que presenta esta propiedad en este proceso de extracción podría tener relación con el bajo contenido de material no fibroso adherido en las fibras, el que afecta en forma directa a esta propiedad. Sin embargo, no se debe descartar el posible daño de las fibras, sufrido durante el proceso de descortezado. Esto podría ser verificado por medio de un análisis microscópico, de preferencia con un equipo electrónico, de las fibras en contraste con las fibras obtenidas en los otros procesos. Los datos primarios usados en el cálculo del promedio presentado en la tabla 3.33 son exhibidos en el Anexo II.

Por otro lado, el coeficiente de variación es alto, pero inferior a los encontrados en los procesos de extracción manual, enriado con machacado y enriado sin machacado, en los que el coeficiente de variación se encuentra entre 38 y 58%.

En la figura 3.16 se presenta un diagrama de caja en el que se aprecia el rango y dispersión de los valores del título de las fibras obtenidas por descortezado mecánico.

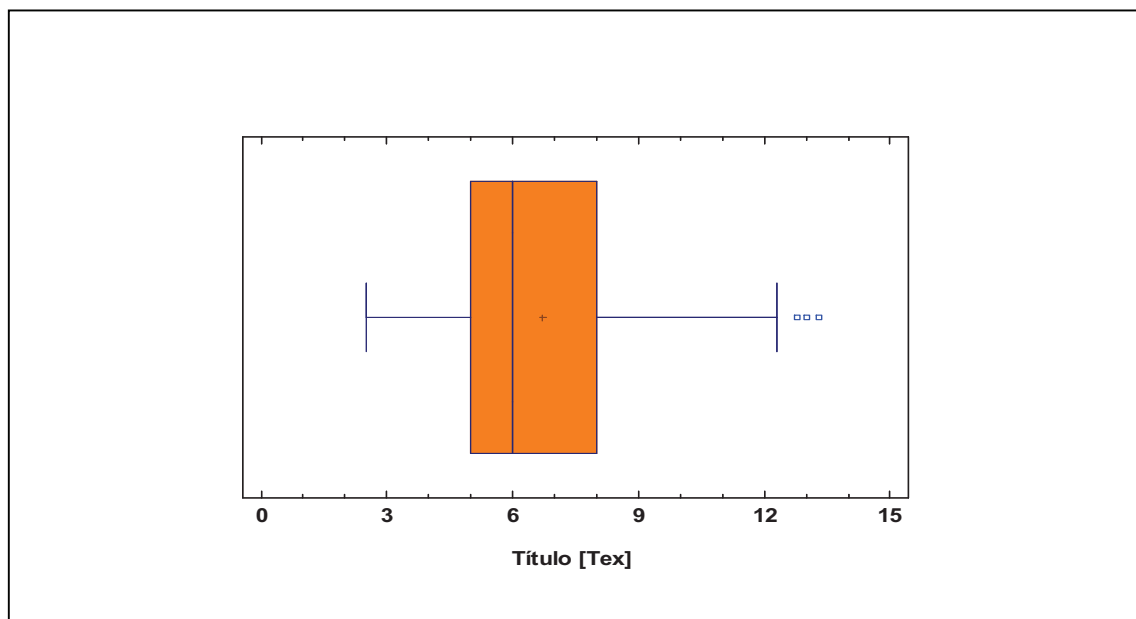


Figura 3.16. Diagrama de cajas del título de las fibras de formio obtenidas por extracción mecánica por descortezado

En la figura se aprecia, en forma general, que un 50% de valores de esta propiedad oscilan entre 5 y 8 Tex y además se observa la presencia de valores extremos, los que afectarían la media y en consecuencia afecta al coeficiente de variación. Estos valores son indicio de la existencia de materia no deseada en algunas fibras pero no en cantidades similares a los procesos anteriores, y posiblemente una mejor liberación de las fibras. El promedio es 7 Tex aproximadamente, como se observa en la figura 3.16 y es un 60% menor al encontrado para extracción manual (17,4 Tex).

La tenacidad de las fibras se obtuvo siguiendo los procedimientos descritos en el capítulo 2, en la sección 2.7.2. La tenacidad promedio para este método de extracción se muestra en la tabla 3.34 y los valores individuales usados en el cálculo del promedio son expuestos en el Anexo II.

Tabla 3.34. Resumen de resultados de la tenacidad de las fibras de formio extraídas por descortezado mecánico

Tenacidad Promedio [cN/Tex]	Desviación Estándar [cN/Tex]	CV [%]	Mín. [cN/Tex]	Máx. [cN/Tex]
40,91	16,09	39,32	15,20	102,53

$$\bar{X} \pm \sigma (n = 160)$$

El valor promedio presentado en la tabla es aproximadamente el doble del valor reportado para las fibras obtenidas en extracción manual (20,71 cN/Tex). Esto indica que el contenido de material no fibroso no solo afecta al título como ya se indicó, sino también a su tenacidad. Debido a que mantienen una relación inversa, la tenacidad disminuye con el incremento del título. Este valor es cercano al reportado para la tenacidad de las fibras de una de las variedades estudiadas por Lowe *et. al*, 2009, p. 123. Por otra parte, este valor es semejante a los presentados para las fibras del proceso de extracción por enriado sin machacado, en los días 15 al 27, lo que haría suponer que las fibras de formio tienen buena resistencia a fuerzas externas.

En la figura 3.17 se presenta un esquema de la variabilidad y el rango de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico.

En la figura 3.17 se aprecia que existe gran variabilidad en esta propiedad de las fibras obtenidas por este proceso de extracción. Sin embargo, se concentra el 50% de los valores en el rango entre 25,0 y 55,0 cN/Tex. Además, se observa que existe la presencia de un valor por encima de 100,0 cN/Tex, lo que podría ser consecuencia de un posible ensayo de un conjunto de fibras unidas entre sí, es decir, fibras que no se liberaron. Además, las diferencias en la tenacidad podría deberse a los cuidados que las plantas pudieron recibir, ya que las propiedades

son afectadas por la posible presencia de fertilizante u otros agentes químicos (Salazar, 2010, p. 85).

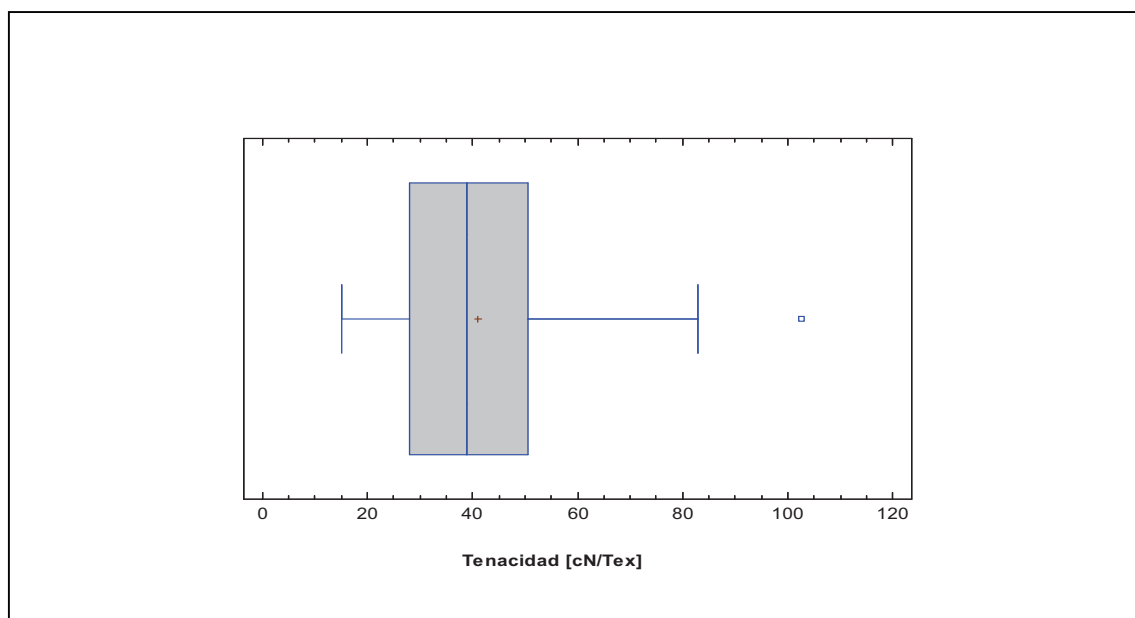


Figura 3.17. Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico

Respecto del porcentaje de elongación de las fibras, su determinación se realizó con base en el procedimiento indicado en el capítulo 2, sección 2.7.2. Los resultados son presentados en la tabla 3.35. Los valores encontrados se presentan en el Anexo II.

Tabla 3.35. Resumen de resultados del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio extraídas por descortezado mecánico

Elongación Promedio [%]	Desviación Estándar [%]	CV [%]	Mín. [%]	Máx. [%]
4,40	0,92	20,97	3,05	6,11

$\bar{X} \pm \sigma$ (n = 160)

El valor presentado en la tabla 3.35 es semejante a los valores reportados para los anteriores procesos de extracción, sin embargo, es el menor entre los obtenidos para las fibras de formio en el presente trabajo. Este valor es superior a los reportados para algunas de las variedades de esta planta, los que están en el rango de 2,4 a 2,9% (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Lowe *et. al*, 2009, p. 121).

En la figura 3.18 se expone la variación en los valores del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico.

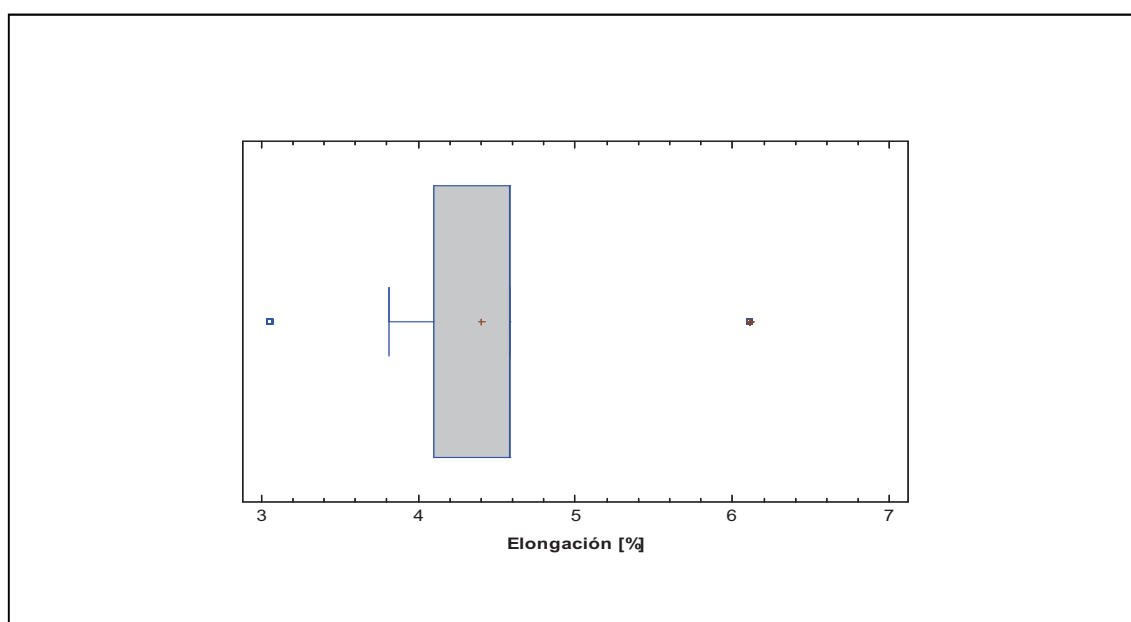


Figura 3.18. Diagrama de cajas del porcentaje de elongación, a carga máxima, de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico

En la figura se observa que los valores del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico mantienen una dispersión baja y la mayor parte, cerca de un 75%, de sus valores oscila entre 4,2 y 4,6% aproximadamente, valores que se encuentran sobre los reportados en bibliografía (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Lowe *et. al*, 2009, p. 121). Además, estos mantienen estrecha relación con los valores encontrados en los procesos anteriores, sin embargo, la presencia de valores porcentuales cercanos a tres (3%) podrían ser consecuencia de un posible daño en las fibras durante el proceso de descortezado.

3.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO ADECUADO DE DESFIBRADO

Para seleccionar el método adecuado de desfibrado, es decir, aquel que permita obtener fibras con mejores características como; color blanco, menor contenido de material no fibroso, tenacidad, se evaluaron los criterios establecidos en el capítulo 2, sección 2.7 y además se consideraron las mejores condiciones de cada proceso.

En la tabla 3.36 se presenta un resumen de la cualificación de cada proceso o método de extracción usados para la obtención de las fibras de formio.

Tabla 3.36. Resumen comparativo de la cualificación de los procesos de extracción usados para la obtención de las fibras de formio

	Criterio		
	Facilidad de Remoción de material no fibroso	Contenido de material no deseado	Color de las fibras
Extracción Manual (Día 6)	3	3	2
Enriado con machacado (Día 5)	2	3	3
Enriado sin machacado (Día 22)	3	3	3
Descortezado Mecánico	3	4	4

En la tabla se observa que la facilidad de remoción de material no deseado tiene un valor de tres (3) para todos los procesos, con excepción del día establecido para enriado con machacado, ya que en este proceso se tomó como factor discriminante, el tiempo total de proceso debido a que en los días 5 y 13 se obtuvieron valores iguales en los criterios de contenido de materia no deseada y color de las fibras, como se indicó en la tabla 3.12. Por lo que se podría concluir que este criterio es “similar” para todos los procesos, por lo tanto éste no es un factor determinante en la selección de un método adecuado para el desfibrado del formio.

Al observar los valores alcanzados para el criterio, contenido de material no fibroso, las fibras obtenidas por descortezado son las que presentaron menor contenido y consecuentemente su calificación es la más alta entre las presentadas para los diversos procesos. Sin embargo, no es posible descartar la presencia de este material en las fibras.

Finalmente, en la tabla 3.36, se presentan los resultados de la evaluación del color de las fibras, el que debería ser blanco, según lo encontrado en bibliografía (Brescia, 1969). Las fibras obtenidas por descortezado son las que presentan este color, razón por la que se les asignó el valor máximo considerado en este criterio. Mientras, las fibras obtenidas por extracción manual son verde amarillentas y las correspondientes a los días establecidos en los procesos de enriado son amarillentas acercándose al blanco, razón por la que presenta valores de dos (2) y tres (3), respectivamente.

Enseguida, en las tablas 3.37 y 3.38 y en la figura 3.19, se presentan los resultados de los análisis de la comparación del título de las fibras obtenidas en cada proceso estudiado.

Tabla 3.37. Resultado del análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4 332,0	3	1 444,0	73,23	< 1,0E-04
Intra grupos	6 566,6	333	19,7		
Total (Corr.)	10 898,6	336			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

En la tabla 3.37, el valor P es menor que 0,05, por lo que se establece que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las muestras. Las diferencias son fruto de la cantidad de materia no deseada adherida en las fibras,

como se indicó anteriormente en los análisis de cada proceso. Además, podrían ser producto de la aglomeración de fibras, es decir, fibras que no se liberaron.

Tabla 3.38. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas del título de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción

Proceso de Extracción	Tamaño de muestra	Promedio [Tex]	Desv. Estándar [Tex]	Grupos Homogéneos			
Manual (Día 6)	40	12,1	6,6	X			
Enriado con Machacado (Día 5)	77	15,2	6,2		X		
Enriado sin Machacado (Día 22)	75	9,0	4,4			X	
Descortezado	145	6,2	1,8				X

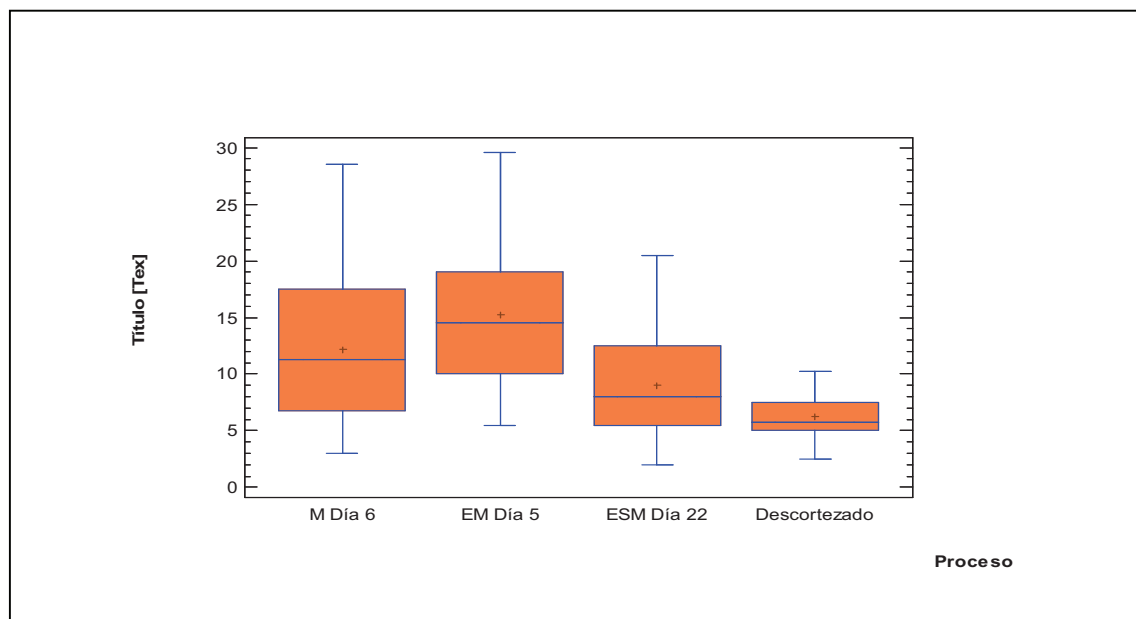


Figura 3.19. Diagrama de cajas del título de las fibras de formio para las muestras óptimas de cada proceso de extracción

En la tabla 3.38 se confirma que las muestras son estadísticamente diferentes, ya que en ella se observa la conformación de cuatro grupos diferentes y en cada uno se encasillan las muestras de cada proceso, entonces, esta propiedad se ve

afectada por el proceso de extracción usado. Las diferencias en el promedio de esta propiedad entre los procesos sería consecuencia del mayor o menor contenido de material no deseado adherido a las fibras, el que en casos como el descortezado fue mínimo, mientras que en el proceso de extracción manual (M) fue más evidente su presencia. Sin embargo, no se debe descartar las diferencias estructurales de las fibras debido a su ubicación relativa a la base de la hoja, ya que las fibras que se encuentran tienden a ser gruesas mientras que las que están cerca de la punta parecen ser delgadas.

Finalmente, en la figura 3.19, se aprecia que las diferencias entre las medias de las muestras son consecuencia de la dispersión de los valores individuales encontrados. Se observa que en los procesos de extracción manual (M Día 6) y de enriado con machacado previo (EM Día 5), los valores encontrados oscilan entre tres (3) y treinta (30) Tex, lo que podría ser producto de un alto contenido de material no deseado en las fibras, sin descartar que se traten de fibras más gruesas producto de los cuidados recibidos por las plantas. Por otro lado, se observa que, aproximadamente, el 75% de los valores del título de las fibras producto de enriado sin machacado (ESM Día 22) y el 100% del Descortezado mecánico no superan los doce (12) Tex. En el caso del descortezado podría ser consecuencia de la poca presencia de materia no deseada, como se indicó en la tabla 3.36 y de una liberación homogénea de las fibras.

Las fibras obtenidas por descortezado mecánico son blancas y tienen bajo contenido de materia no deseada, lo que sería un indicador de que este proceso es el adecuado para la extracción de las fibras de formio, en miras de la caracterización química.

A continuación, en las tablas 3.39 y 3.40 y además en la figura 3.20 se presentan los resultados de la comparación de la tenacidad de las fibras obtenidas en los diferentes procesos.

En la tabla 3.39, el valor P es menor que 0,05, por lo que se establece que existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las muestras. Las diferencias podrían ser consecuencia del contenido de materia no deseada en las fibras, lo que incrementa el título y en consecuencia la tenacidad baja.

Tabla 3.39. Resultado del análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción*

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	17 591,5	3	5 863,8	30,76	< 1,0E-04
Intra grupos	65 760,7	345	190,6		
Total (Corr.)	83 352,2	348			

*La Tabla se presenta en forma similar a la entregada por el programa Statgraphics para Windows

Tabla 3.40. Resumen de grupos homogéneos en el análisis de varianzas de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas en los diferentes procesos de extracción

Proceso de Extracción	Tamaño de muestra	Promedio [cN/Tex]	Desv. Estándar [cN/Tex]	Grupos Homogéneos			
Manual (Día 6)	38	20,0	9,7	X			
Enriado con Machacado (Día 5)	80	34,5	13,3		X		
Enriado sin Machacado (Día 22)	78	45,3	16,0			X	
Descortezado	153	39,0	13,7				X

En la tabla 3.40, se aprecia que, igual que con el título de las fibras, la tenacidad varía con los procesos de extracción, ya que esta propiedad tiene ligada dependencia con el contenido de materia no deseada en las fibras porque esta influye sobre el título de las mismas. Además, se observa que existen diferencias estadísticas significativas entre todas las muestras y por la tanto no hay relación entre ellas. Por otro lado, las fibras obtenidas en el proceso de extracción manual son las que presentan el promedio más bajo para esta propiedad, mientras que las obtenidas por enriado sin machacado tienen los valores más altos. En el último caso, los valores altos de tenacidad podrían ser producto de valores bajos en el título de las fibras, sin embargo, se debe considerar la posibilidad de que la permanencia de las fibras en el baño de enriado produzca un reordenamiento en las cadenas de hemicelulosas, como se indicó anteriormente.

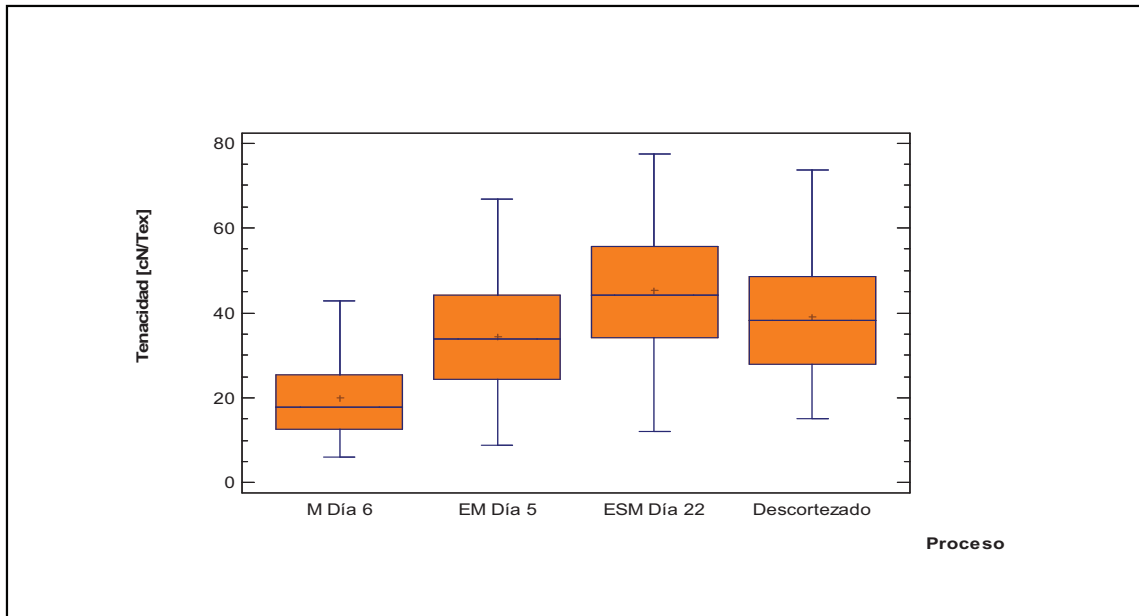


Figura 3.20. Diagrama de cajas de la tenacidad de las fibras de formio para las muestras óptimas de cada proceso de extracción

En la figura 3.20, se observa que la dispersión de la tenacidad de las fibras obtenidas en extracción manual, es la menor de todas. Además, se aprecia que en los otros procesos la dispersión en los valores es similar. Las fibras obtenidas por enriado sin machacado y por descortezado son las que presentan los valores más altos para esta propiedad, sin embargo, el proceso de enriado influye sobre esta propiedad, incrementándole posiblemente por el reordenamiento de las cadenas de celulosa y hemicelulosas, como se indicó en la sección 3.2.2.3. Por otro lado, el tiempo de procesado es mayor que en el proceso de descortezado, por lo que una alta tenacidad podría verse relegada por el menor tiempo de procesado. Entonces, el proceso de descortezado debería ser el indicado para la extracción de estas fibras, ya que se obtienen fibras con buena tenacidad en periodos cortos de procesado.

Por lo tanto, el proceso de descortezado mecánico sería el más adecuado para el desfibrado de las hojas de formio. Además, se debe tener presente que con este proceso, la extracción de las fibras se realiza en pocos minutos, a diferencia de los otros procesos para los que se requiere de por lo menos un día, como en el caso de la extracción manual.

3.5 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS FIBRAS DE FORMIO

En esta sección se presentan los resultados de la caracterización química de las fibras de formio extraídas con el proceso de descortezado mecánico, el cual fue el método que se seleccionó, porque con este que se obtuvieron las fibras blancas con un contenido de material no deseado, despreciable, lo que redujo la posibilidad de interferencias en la caracterización. Además, las fibras presentan un promedio alto en la tenacidad respecto de las fibras obtenidas en los procesos de extracción manual y enriado con machacado previo.

Los resultados de la caracterización química de las fibras de formio se presentan en la tabla 3.41, en la que se exponen los valores encontrados para las muestras.

Tabla 3.41. Resultados de la caracterización química de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico en una desfibradora de cabuya

Parámetro	Promedio
Humedad inicial	10,58%
Humedad de análisis	9,49%
Cenizas	0,54%
Sol. en alcohol-benceno	3,18%
Celulosa	64,02%
Lignina	10,52%
Pentosanas	16,49%
Solubilidad en agua caliente	3,33%
Solubilidad en NaOH 1%	19,40%

En la tabla 3.41, los valores correspondientes a porcentaje de celulosa y lignina son los de mayor importancia, ya que éstos compuestos son los considerados importantes para posibles aplicaciones industriales de las fibras. El valor presentado para la celulosa en estas fibras (64,02%), es mayor a los reportados para tres variedades de formio; 55,11; 53,34 y 53,26%, correspondiente a las variedades Arawa, Makaweroa y Tapamangu (Carr *et. al*, 2005, p. 93), pero similar al reportado para las fibras obtenidas por procesos químicos (63,94%) (Guerra, 2011, p. 103) y este es, aproximadamente, un 27% inferior al contenido

en las fibras de ramio (*Boehmeria nivea*) reportado por Salazar (2010), cuando estas han sido cosechadas a los 45 días. Esto posiblemente se deba a las diferencias en labores de cultivo, suelo de cultivo y zonas geográficas, las que influyen en la composición química de las fibras y de las planta en general (Honorato y Hernández, 1998, p. 79). Además, este es un 30% menor que el porcentaje de celulosa en las fibras de algodón.

Por otro lado, el valor encontrado para el contenido de lignina es similar a los valores de 10 y 11% que mencionan en bibliografía (Carr *et. al*, 2005, p. 93; Santulli *et. al*, 2009, p. 650). Como ya se indicó el contenido de celulosa y lignina son los más apreciados, debido a que con base en estos es posible establecer posibles aplicaciones de estas fibras en industrias papeleras o de textiles.

Los valores encontrados para el contenido de pentosanos en estas fibras son un tercio de los mencionados para las hemicelulosas en las publicaciones mencionadas de Carr *et. al*, 2005 y Santulli *et. al*, 2009. Esto es de esperar ya que los pentosanos representan una parte de las llamadas hemicelulosas (Casey, 1990, pp. 33-42; Casey, 1991, pp. 163-170).

Los valores reportados de humedad son semejantes al mencionado por Santulli *et. al* (2009), en su publicación. La humedad inicial es mayor que la humedad de análisis, debido a que para determinar la humedad de análisis las fibras fueron molidas y por tanto fueron sometidas a fricción; en consecuencia perdieron algo de la humedad que presentan inicialmente.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Las fibras de formio se extrajeron con los métodos tradicionales de desfibrado de fibras vegetales propuestos; extracción manual, extracción por enriado y descortezado mecánico, con diferencias en el contenido de material no fibroso y en el color de las fibras.
- La extracción manual de las fibras, se dificulta conforme avanzan los días luego de la cosecha de las hojas. El cardado por la cara posterior de la hoja favorece la liberación de las fibras.
- En el proceso de enriado con machacado, el tiempo de permanencia de las hojas en el interior del estanque depende de la uniformidad del machacado. Si el machacado es uniforme, las hojas pueden ser extraídas del estanque a partir del día 5.
- En el proceso de enriado sin machacado, las hojas deben extraerse del estanque a partir del día 22 y sin exceder el día 27.
- Para el proceso de descortezado mecánico, la separación mesa - paletas recomendada es de 0,30 mm para un motor de 5 HP que gira nominalmente a 3520 rpm. Adicionalmente, las hojas deben ser alimentadas a la desfibradora desde la base y con la cara posterior hacia arriba.
- El título de las fibras varía con el proceso de desfibrado utilizado. Las fibras obtenidas por extracción manual presentaron los valores más altos para esta propiedad.
- Los procesos de extracción no influyen de forma significativa en la tenacidad de las fibras de formio.

- La tenacidad de las fibras obtenidas por enriado sin machacado, se incrementa con el tiempo de enriado, hasta el día 27. La tenacidad de las fibras producto del descortezado es similar a los valores alcanzados en el proceso de enriado sin machacado.
- El descortezado mecánico es el método más rápido y adecuado para la extracción de las fibras de formio. Se obtienen fibras blancas, agradables al tacto y con un contenido de material no deseado prácticamente despreciable.
- Las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico tienen un contenido promedio de celulosa del 64,02%, 10,52% de lignina y un 3,18% de resinas, ceras y gasas.

4.2 RECOMENDACIONES

- Someter a un estudio la influencia de la velocidad de giro del tambor de la desfibradora en procesos de desfibrado mecánico.
- Realizar un estudio de caracterización y posibles aplicaciones de la parte de la hoja no utilizada, es decir, de la base de la hoja que no se usó en este estudio porque presentaba características leñosas y la extracción de las fibras se dificultó en los procesos “manuales” de extracción.
- Realizar extracciones de las fibras con procesos combinados de enriado y descortezado mecánico, debido a la tendencia del proceso de enriado a incrementar la tenacidad de las fibras, tal que se establezca su posible influencia sobre las propiedades de las fibras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Acosta, M. 1952. *Las fibras y lanas vegetales en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- 2) Bianco, C., Kraus, T. y Vegetti, A. 2004. *La Hoja: Morfología externa y Anatomía*. (1° ed.). Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- 3) Booth, J.E. 1961. *Principles of Textile Testing*. Londres, Inglaterra: National Trade Press Ltda.
- 4) Bowker, A. y Lieberman, G. 1981. *Estadística para ingenieros*. Madrid, España: Editorial Prentice Hall Internacional.
- 5) Brescia, R. 1969. Formio No solo Ornamental. *Almanaque del Banco de Seguros* (pp. 248-251), Montevideo, Uruguay.
- 6) Carr, D. J., Cruthers, N., Laing, R. y Niven, B. 2005. Fibers from Three Cultivars of New Zealand Flax (*Phormium tenax*), *Textile Research Journal*, 75 (2), 93-98.
- 7) Casey, J. P. (1990). *Pulpa y Papel: Química y tecnología química Vol. 1*. México D.F., México: Limusa.
- 8) Casey, J. P. (1991). *Pulpa y Papel: Química y tecnología química Vol. 2*. México D.F., México: Limusa.
- 9) Castillo, R., Carballo, L., Pérez, N. y Fernández, R. 2008. Estudio de la composición química del residuo sólido del beneficio húmedo del café en Bahía Honda, Pinar del Río. *CIGET Pinar del Río*, 10 (1), 1-9.
- 10) Collier, B. y Tortora, P. 2001. *Understanding Textiles* (6° ed.). New Jersey, USA: Prentice-Hall Ltda.
- 11) Critchfield, H. 1951. *Phormium tenax* New Zealand's Native Hard Fiber, *Economic Botany*, 5 (2), 172-184.

- 12) FAO. 2009. "Año Internacional de las fibras Naturales", <http://www.naturalfibres2009.org/en/index.html>, (Mayo, 2011)
- 13) García, I. 1999. El cultivo del Lino en la historia de la comarca de Talavera, *Cuaderna*, (7-8), 24-37.
- 14) García, L., Guindeo, A., Peraza, C. y De Palacios, C. 2003. *La madera y su anatomía* (1° ed.). Madrid, España: Mundi-prensas.
- 15) Glennie, D. y McCarthy, J. 1983. Química de la Lignina, en Earl Libby, *Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel, Tomo I: Pulpa* (pp. 113-120). México D.F., México: Continental.
- 16) Grant, J. 1966. *Manual sobre la fabricación de Pulpa y Papel* (1° ed.). México D.F., México: Continental.
- 17) Guerra, S. 2011. *Optimización de un Método Químico para la extracción de la fibra de formio (Phormium tenax)*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- 18) Harris, W. y Woodcock-Sharp, M. 2000. Extraction, content, strength, and extension of Phormium variety fibres prepared for traditional Maori weaving. *New Zealand Journal of Botany*, 38 (3), 469-486.
- 19) Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. 1994. *Metodología de la investigación*. Colombia: McGraw-Hill.
- 20) Hines, W. y Montgomery, D. 1993. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería* (2° ed.). México D.F., México: Continental.
- 21) Honorato, J. A. y Hernández, J. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosque*, 4 (2), 79-93.
- 22) Jewel, R. 2009. *Textile Testing*. Nueva Delhi, India: APH Publishing Corporation.

- 23) King, M. 2003. *Phormium tenax* (Agavaceae) leaf anatomy effects on fibre extraction by the Maori haro method. *New Zealand Journal of Botany*, 41 (3), 571-578.
- 24) Lewin, M. 2007. *Handbook of fiber Chemistry* (3ra. ed.). Nueva York, Estados Unidos: Advisory Board.
- 25) Lowe, B., Carr, D., McCallum, R., Myers, T., Niven, B., Cameron, R., Gorham, A., Holtham, C. y Te Kanawa, T. 2009. *Identifying harakeke (Phormium tenax) cultivars using whītau and fibre aggregate properties*. En *Natural fibres in Australasia*, Dunedin, Nueva Zelanda. Recuperado de http://www.otago.ac.nz/textiles/harakeke/Lowe_TI2009_121.pdf, (Septiembre, 2011).
- 26) Mishra, S. 2005. *A Text Book of Fibre Science and Technology*. New Delhi, India: New Age International Limited, Publishers.
- 27) Morán, J. 2008. *Extracción de celulosa y obtención de nanocelulosa a partir de fibra Sisal-Characterización*. En 2° encuentro de Jóvenes Investigadores en Ciencia y Tecnología de Materiales, Posadas, Misiones. Recuperado de http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/jovenesSAM08/Trabajos_completos/14.Materiales%20Nanoestructurados/14067MoranJ.pdf, (Noviembre, 2011).
- 28) Páez, J. 2007. *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de Abacá mediante moldeo por compresión*. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- 29) Parra, I., Del Villar, P. y Prieto, A. 2010. Extracción de fibras de agave para elaborar papel y artesanías. *Acta Universitaria*, 20 (3), 77-83.
- 30) Ross, K. y Mazza, G. 2010. Characteristics of Lignin from Flax Shives as Affected by Extraction Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 11, 4035-4050.

- 31) Rössel, D., Ortiz, H. y Mayorga, E. 2003. Teoría Funcional de una Máquina Desfibradora de Lechuguilla (*Agave lechuguilla Torr*) de tipo Tambor. *Revista Naturaleza y Desarrollo*, 1 (2), 25-33.
- 32) Salazar, S. 2010. *Caracterización de la fibra de Ramio (Boehmeria nivea) y Estudio del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas.* (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- 33) Sánchez, L. 1958. La linaza en México. *Revista de la Sociedad Química de México*, 2 (4), 207-218.
- 34) Santulli, C., Jeronimidis G., De Rosa, M. y Sarasini, F. 2009. Mechanical and falling weight impact properties of unidirectional phormium fibre/epoxy laminates. *Express Polymer Letters*, 3 (10), 650-656.
- 35) Scheele, S. 2005. *Harakeke, The Rene Orchiston Collection* (3ra. Ed.). Lincoln, Nueva Zelanda: Manaaki Whenua Press.
- 36) Velasco, G. 2005. *Manejo de la fibra de Pita (Aechmea magdalenae) como estrategia para la conservación de los bosque de Oaxaca.* Oaxaca, México. Recuperado de <http://www.piteadofino.com/investigacion%20de%20griselle%20j.%20velasco%20rodriguez%20en%20oaxaca.pdf>, (Septiembre, 2011).
- 37) Wise, L. y Lauer, K. 1983. Celulosa y Hemicelulosas. En Earl Libby. *Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel, Tomo I: Pulpa* (79-101). México, México: Editorial Continental.

ANEXOS

ANEXO I

**Resultados de la caracterización inicial de las hojas de formio y
rendimientos alcanzados por hoja**

Tabla AI. 1. Resumen de los resultados de la caracterización inicial y los rendimientos alcanzados en el proceso de extracción manual

Hoja	Longitud [m]	Ancho [m]	Peso Hoja [g]	Peso fibra [g]	Rendimiento [%]
1	1,81	0,11	58,9	5,6	9,51
2	1,87	0,12	65,6	11,6	17,68
3	1,94	0,11	58,5	3,2	5,47
4	1,69	0,12	60,2	8,9	14,78
5	2,06	0,11	62,1	10,9	17,55
6	1,83	0,12	50,7	8,8	17,36
7	1,79	0,11	48,0	9,8	20,42
8	1,91	0,11	50,1	10,5	20,96

Tabla AI. 2. Resumen de los resultados de la caracterización inicial y los rendimientos alcanzados en el proceso de extracción por enriado con machacado previo

Hoja	Longitud [m]	Ancho [m]	Peso Hoja [g]	Peso fibra [g]	Rendimiento [%]
1	1,64	0,08	21,2	4,7	22,17
2	1,69	0,08	20,7	2,0	9,66
3	1,86	0,12	38,4	5,5	14,32
4	1,67	0,08	18,9	2,4	12,70
5	1,67	0,07	18,0	4,1	22,78
6	1,77	0,09	22,4	2,9	12,95
7	1,51	0,09	20,6	2,5	12,14
8	1,87	0,07	24,7	5,0	20,24
9	1,67	0,08	26,3	6,0	22,81
10	1,81	0,10	25,3	3,4	13,44

Nota: El rendimiento presentado es calculado para la mitad de cada hoja

Tabla AI. 3. Resumen de los resultados de la caracterización inicial y los rendimientos alcanzados en el proceso de extracción por enriado sin machacado previo

Hoja	Longitud [m]	Ancho [m]	Peso Hoja [g]	Peso fibra [g]	Rendimiento [%]
1	1,64	0,08	19,7	4,5	22,84
2	1,69	0,08	19,0	3,3	17,37
3	1,86	0,12	35,3	5,5	15,58
4	1,67	0,08	17,5	2,8	16,00
5	1,67	0,07	16,5	4,2	25,45
6	1,77	0,09	22,0	2,5	11,36
7	1,51	0,09	22,3	2,3	10,31
8	1,87	0,07	22,9	5,4	23,58
9	1,67	0,08	25,4	5,9	23,23
10	1,81	0,10	23,8	2,7	11,34
11	1,59	0,07	42,0	8,8	20,95
12	1,75	0,07	47,0	7,9	16,81
13	1,61	0,09	62,3	6,9	11,08
14	1,36	0,08	38,5	4,3	11,17

Nota: Los rendimientos en las 10 primeras hojas se calcularon para la mitad de la hoja

Tabla AI. 4. Resumen de los resultados de la caracterización inicial y los rendimientos alcanzados en el proceso de descortezado mecánico

Hoja	Longitud [m]	Ancho [m]	Peso Hoja [g]	Peso fibra [g]	Rendimiento [%]
1	1,61	0,10	47,6	4,9	10,29
2	1,64	0,12	58,4	5,0	8,56
3	1,69	0,12	51,4	3,9	7,59
4	1,29	0,11	50,0	5,3	10,60
5	1,67	0,11	52,6	3,7	7,03
6	1,68	0,12	56,1	5,9	10,52
7	1,56	0,11	53,3	5,7	10,69
8	1,58	0,10	45,8	5,1	11,14
9	1,73	0,10	48,6	5,9	12,14
10	1,45	0,10	40,7	5,3	13,02

ANEXO II

**Propiedades encontradas en las fibras de formio obtenidas con los
diferentes procesos de Extracción**

Tabla AII. 1. Resultados del título de las fibras de formio obtenidas por extracción manual para diferentes días

Especímen	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1	32,0	84,0	18,0	14,5	24,0	3,0	7,5	24,5
2	20,5	16,0	13,5	20,5	11,0	3,5	25,0	28,0
3	32,5	91,0	26,0	30,5	20,5	20,0	22,0	16,0
4	45,0	14,0	18,0	18,0	15,5	12,5	18,0	10,5
5	24,5	8,5	16,0	24,5	22,5	18,5	5,0	23,0
6	42,0	11,0	23,0	29,5	23,0	11,5	21,0	25,0
7	34,5	13,0	18,0	19,5	24,0	18,0	5,0	16,5
8	19,0	4,5	19,0	18,5	23,0	12,5	20,5	17,5
9	40,5	21,5	16,0	40,0	26,5	7,5	5,0	19,5
10	45,5	20,5	16,0	23,0	55,0	16,0	21,0	9,0
11	61,0	13,0	21,5	17,0	33,0	10,5	15,0	23,0
12	54,0	51,0	13,0	38,5	28,5	7,0	21,0	17,0
13	47,0	41,5	19,5	8,0	40,5	8,5	7,0	10,5
14	67,0	61,5	13,0	25,0	25,5	6,0	16,5	12,5
15	11,5	28,5	18,5	43,5	36,5	7,5	6,5	17,5
16	3,0	39,0	14,5	15,0	12,5	3,5	12,5	22,0
17	13,5	50,0	13,0	31,5	42,0	8,5	13,0	25,5
18	24,5	26,0	14,5	11,0	38,5	9,5	6,5	9,0
19	36,0	15,0	15,5	19,5	10,5	26,5	20,0	18,5
20	17,0	34,0	18,5	24,5	9,0	6,0	7,0	37,5
21	28,0	20,5	11,5	21,5	10,5	6,0	12,5	11,0
22	17,5	23,0	14,0	47,5	13,0	3,5	17,5	13,0
23	36,5	27,0	11,0	19,5	24,5	6,5	16,0	9,5
24	61,0	17,5	8,5	21,5	10,0	20,5	11,5	13,0
25	59,5	26,5	18,5	26,5	30,0	5,5	9,5	6,0
26	59,0	14,0	19,5	18,0	18,5	18,5	15,0	12,5
27	25,0	25,0	14,5	29,5	30,0	13,5	23,5	24,0
28	18,5	28,5	13,5	23,5	13,5	10,0	14,0	14,0
29	24,5	19,0	7,5	12,5	28,0	16,0	10,5	17,0
30	27,5	43,5	51,0	11,0	8,5	11,0	9,0	10,5
31	38,0	36,0	15,5	20,0	15,5	28,5	20,0	20,5
32	25,0	33,0	15,5	33,5	9,0	23,5	10,5	21,0
33	21,0	26,5	15,5	14,0	6,5	14,5	18,0	30,0
34	18,0	20,0	19,0	23,5	24,5	7,5	12,5	7,0
35	33,5	33,5	22,0	11,5	31,5	4,0	14,5	17,0
36	33,5	33,0	10,5	4,0	31,5	14,5	18,5	8,0
37	25,5	47,0	15,0	11,0	7,5	17,0	5,0	5,5
38	63,0	36,0	20,5	14,0	27,0	12,5	4,0	5,5
39	26,5	45,0	15,0	10,5	26,0	18,5	23,5	7,5
40	9,5	22,5	12,5	26,5	20,0	18,0	54,5	2,5

Nota: Los valores del título son reportados en [Tex] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 2. Resultados de las fuerza de tensión soportadas por las fibras de formio obtenidas por extracción manual para diferentes días

Especímen	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1	3,311	9,349	2,731	3,438	3,558	0,716	2,489	3,036
2	6,879	4,486	2,748	3,215	2,985	1,810	2,292	7,565
3	7,634	20,210	3,912	5,013	5,173	1,221	2,477	3,416
4	4,218	3,198	8,780	5,202	2,348	1,855	3,210	1,295
5	2,255	3,297	2,568	3,841	5,151	2,399	1,102	3,464
6	6,735	5,850	2,750	3,146	4,256	1,746	4,999	5,547
7	9,717	3,876	3,957	4,642	3,867	4,565	2,534	3,848
8	6,383	1,474	2,560	2,765	4,585	3,188	2,054	2,617
9	7,564	2,570	4,092	3,493	3,995	3,070	0,832	4,895
10	9,213	4,074	6,088	10,030	6,548	1,421	7,158	1,369
11	4,581	4,863	7,986	3,917	3,783	2,173	5,106	2,371
12	5,003	8,778	2,454	6,097	3,015	1,941	5,330	5,667
13	4,163	6,157	4,060	1,563	2,176	1,636	1,047	3,386
14	9,827	6,322	2,406	3,656	2,182	1,436	2,789	2,408
15	2,206	3,566	6,004	7,327	3,117	1,132	2,220	2,397
16	2,768	9,576	3,072	3,107	2,632	1,822	2,679	4,800
17	2,112	8,191	4,289	8,844	3,413	1,297	3,314	3,854
18	3,520	3,244	4,829	3,398	4,900	2,637	1,631	1,657
19	4,956	5,664	1,926	3,667	2,159	3,101	2,876	2,837
20	2,460	7,539	6,015	9,036	2,986	1,852	1,538	1,698
21	5,293	6,039	3,464	2,434	2,362	1,308	4,286	1,920
22	6,410	4,944	1,797	5,809	1,833	1,480	3,763	2,873
23	7,431	5,476	1,642	3,596	3,795	1,561	1,160	3,018
24	6,380	3,909	2,060	5,203	2,092	2,776	1,939	3,310
25	6,366	2,716	4,388	4,755	3,166	1,843	2,357	1,299
26	4,788	1,843	2,493	3,108	2,003	1,773	2,054	1,682
27	6,079	6,685	4,150	3,824	4,176	1,442	3,934	1,756
28	5,467	5,986	2,328	6,377	2,437	2,315	2,924	2,782
29	5,743	4,367	1,779	1,735	5,847	1,288	3,569	2,721
30	7,953	8,875	5,527	5,409	1,559	1,761	1,796	1,411
31	7,466	7,002	3,070	2,063	1,132	1,775	4,190	2,722
32	3,426	4,280	5,573	4,459	1,050	4,314	3,545	5,888
33	2,296	3,181	3,159	3,069	1,311	1,431	4,900	5,473
34	5,763	5,966	4,039	5,243	1,596	1,292	2,686	2,112
35	7,848	7,617	4,025	2,531	2,504	1,712	2,843	2,739
36	9,009	7,394	0,855	1,550	1,599	3,964	3,522	1,132
37	6,953	8,389	3,529	1,718	1,526	4,764	1,355	1,547
38	11,310	6,020	5,479	4,466	6,105	1,572	1,811	1,489
39	7,315	6,654	2,440	3,258	3,957	2,802	3,398	2,087
40	2,368	3,575	1,556	5,338	2,614	2,240	9,863	1,369

Nota: Los valores de la fuerza están reportados en [N]

Tabla AII. 3. Resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual para diferentes días

Especímen	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1	10,35	11,13	15,17	23,71	14,83	23,85	33,19	12,39
2	33,56	28,04	20,36	15,68	27,14	51,71	9,17	27,02
3	23,49	22,21	15,05	16,44	25,23	6,11	11,26	21,35
4	9,37	22,84	48,78	28,90	15,15	14,84	17,83	12,33
5	9,20	38,79	16,05	15,68	22,89	12,97	22,04	15,06
6	16,04	53,18	11,96	10,66	18,50	15,18	23,80	22,19
7	28,17	29,82	21,98	23,81	16,11	25,36	50,68	23,32
8	33,59	32,76	13,47	14,95	19,93	25,50	10,02	14,95
9	18,68	11,95	25,58	8,73	15,08	40,93	16,63	25,10
10	20,25	19,87	38,05	43,61	11,91	8,88	34,09	15,21
11	7,51	37,41	37,14	23,04	11,46	20,70	34,04	10,31
12	9,26	17,21	18,88	15,84	10,58	27,73	25,38	33,34
13	8,86	14,84	20,82	19,54	5,37	19,25	14,96	32,25
14	14,67	10,28	18,51	14,62	8,56	23,93	16,90	19,26
15	19,18	12,51	32,45	16,84	8,54	15,09	34,15	13,70
16	92,27	24,55	21,19	20,71	21,06	52,06	21,43	21,82
17	15,64	16,38	32,99	28,08	8,13	15,26	25,49	15,11
18	14,37	12,48	33,30	30,89	12,73	27,76	25,09	18,41
19	13,77	37,76	12,43	18,81	20,56	11,70	14,38	15,34
20	14,47	22,17	32,51	36,88	33,18	30,87	21,97	4,53
21	18,90	29,46	30,12	11,32	22,50	21,80	34,29	17,45
22	36,63	21,50	12,84	12,23	14,10	42,29	21,50	22,10
23	20,36	20,28	14,93	18,44	15,49	24,02	7,25	31,77
24	10,46	22,34	24,24	24,20	20,92	13,54	16,86	25,46
25	10,70	10,25	23,72	17,94	10,55	33,51	24,81	21,65
26	8,12	13,16	12,78	17,27	10,83	9,58	13,69	13,46
27	24,32	26,74	28,62	12,96	13,92	10,68	16,74	7,32
28	29,55	21,00	17,24	27,14	18,05	23,15	20,89	19,87
29	23,44	22,98	23,72	13,88	20,88	8,05	33,99	16,01
30	28,92	20,40	10,84	49,17	18,34	16,01	19,96	13,44
31	19,65	19,45	19,81	10,32	7,30	6,23	20,95	13,28
32	13,70	12,97	35,95	13,31	11,67	18,36	33,76	28,04
33	10,93	12,00	20,38	21,92	20,17	9,87	27,22	18,24
34	32,02	29,83	21,26	22,31	6,51	17,23	21,49	30,17
35	23,43	22,74	18,30	22,01	7,95	42,80	19,61	16,11
36	26,89	22,41	8,14	38,75	5,08	27,34	19,04	14,15
37	27,27	17,85	23,53	15,62	20,35	28,02	27,10	28,13
38	17,95	16,72	26,73	31,90	22,61	12,58	45,28	27,07
39	27,60	14,79	16,27	31,03	15,22	15,15	14,46	27,83
40	24,93	15,89	12,45	20,14	13,07	12,44	18,10	54,76

Nota: Los valores se presentan en [cN/tex] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 4. Resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por extracción manual

Especímen	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8
1	6,105	4,387	4,578	3,052	3,433	3,052	3,052	4,578
2	9,155	4,959	3,052	4,578	3,052	3,052	4,578	6,105
3	7,630	6,105	4,578	3,052	4,006	3,052	4,578	4,578
4	6,105	4,578	4,578	3,052	4,196	4,578	6,105	4,578
5	4,578	4,769	4,578	4,578	4,196	4,578	4,578	4,578
6	7,630	5,915	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578	4,578
7	7,630	4,959	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578
8	6,105	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	6,105	3,052
9	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578
10	4,578	5,080	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578
11	4,578	5,720	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	4,578
12	6,105	5,150	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105
13	6,105	6,675	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	6,105
14	7,630	5,530	6,105	3,052	3,052	4,578	4,578	4,578
15	6,105	4,387	3,052	3,052	3,052	4,578	4,578	3,052
16	6,105	5,340	4,578	4,578	3,052	6,105	3,052	3,052
17	6,105	4,959	4,578	4,578	3,052	4,578	6,105	6,105
18	6,105	4,769	4,578	4,578	3,815	4,578	6,105	4,578
19	6,105	6,105	4,578	6,105	5,150	4,578	4,578	4,578
20	6,105	4,769	4,578	6,105	3,624	4,578	4,578	4,578
21	4,578	5,530	4,578	3,052	3,624	4,578	6,105	6,105
22	6,105	4,196	4,578	6,105	3,243	4,578	6,105	4,578
23	4,578	4,769	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105
24	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	3,052	4,578	6,105
25	4,578	4,769	3,052	2,861	4,578	4,578	6,105	4,578
26	4,578	4,578	4,578	2,671	4,578	4,578	6,105	6,105
27	4,578	5,150	4,578	4,006	4,578	3,052	4,578	4,578
28	6,105	5,915	4,578	4,387	4,578	4,578	4,578	4,578
29	6,105	4,959	4,578	3,624	4,578	4,578	6,105	6,105
30	6,105	4,769	4,578	5,530	3,052	4,578	4,578	6,105
31	6,105	6,675	4,578	3,052	3,052	3,052	4,578	3,052
32	4,578	4,196	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105
33	4,578	5,530	4,578	3,815	3,052	3,052	3,052	4,578
34	6,105	5,150	4,578	3,052	3,052	4,578	4,578	4,578
35	4,578	4,578	4,578	4,387	4,578	7,630	4,578	4,578
36	6,105	6,105	4,578	4,578	3,052	6,105	3,052	4,578
37	6,105	4,578	4,578	3,433	4,578	4,578	4,578	6,105
38	4,578	3,433	4,578	4,006	4,578	4,578	6,105	6,105
39	7,630	3,433	3,052	5,340	4,578	4,578	4,578	6,105
40	6,105	3,624	4,578	4,387	4,578	3,052	7,630	6,105

Nota: Los valores son reportados en porcentaje respecto de una distancia inicial de 20 [mm] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 5. Resultados del título de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

Especímen	Día 5		Día 7		Día 9		Día 11		Día 13	
1	14,5	17,0	9,0	17,5	11,5	13,0	9,5	22,0	9,0	4,5
2	8,5	15,5	8,0	9,5	9,0	27,0	12,0	8,0	7,0	13,0
3	18,0	6,5	19,5	5,0	24,5	8,5	17,5	25,0	15,5	7,5
4	16,5	17,5	14,5	8,5	21,5	15,5	7,5	10,0	10,5	19,0
5	19,0	14,0	9,0	8,0	11,0	27,5	7,0	28,0	13,0	8,5
6	14,0	16,0	26,5	15,5	16,0	23,0	4,0	2,5	10,5	10,5
7	22,0	20,0	8,5	18,0	11,0	23,0	14,0	25,0	23,0	8,0
8	6,5	27,5	8,5	28,0	8,5	12,0	7,0	23,5	13,0	8,5
9	25,0	12,5	11,5	9,5	12,5	28,0	11,0	7,5	15,5	16,0
10	8,0	17,0	20,5	11,5	11,0	22,5	9,0	10,5	13,0	10,5
11	9,5	10,0	8,5	18,5	12,5	25,0	11,0	12,0	16,0	10,5
12	17,0	22,5	6,0	10,5	10,0	19,0	6,0	13,0	11,5	5,5
13	17,0	30,5	7,0	20,5	15,0	14,5	9,0	11,0	8,5	8,5
14	8,5	29,5	13,0	13,0	8,5	14,5	7,0	7,0	7,5	9,0
15	9,0	24,0	10,0	9,0	14,0	13,5	11,0	7,5	14,0	13,0
16	10,0	7,5	4,0	10,5	13,0	13,5	8,5	9,0	6,0	14,0
17	5,5	16,0	14,0	4,5	19,5	26,0	4,5	17,5	16,0	16,0
18	13,5	28,0	16,5	20,5	21,5	25,5	6,0	14,0	17,5	5,0
19	7,5	9,0	18,5	6,0	25,5	21,0	9,0	5,0	19,5	6,0
20	11,5	8,0	11,5	9,0	20,0	16,0	7,0	12,0	15,0	8,5
21	8,0	22,0	8,0	9,0	16,5	13,0	11,0	29,0	14,0	9,0
22	16,0	15,0	4,5	4,0	28,0	13,0	8,5	14,5	14,0	7,5
23	10,5	7,0	14,5	12,0	14,0	16,5	3,5	9,0	11,0	12,0
24	12,0	29,5	17,5	11,5	6,0	14,0	12,0	8,0	7,5	8,5
25	11,0	18,0	25,0	11,5	24,5	8,0	4,5	9,5	21,5	7,0
26	19,0	19,0	17,0	5,5	8,0	23,0	11,5	5,0	13,5	17,0
27	20,0	21,5	9,0	13,0	14,0	19,5	4,5	14,5	9,5	7,5
28	32,0	13,5	10,5	8,5	36,0	17,0	5,0	10,5	13,5	21,0
29	15,5	13,0	16,5	18,5	12,5	18,0	3,0	9,5	24,0	13,5
30	11,0	18,0	10,5	17,5	7,5	35,5	18,5	11,5	13,5	14,5
31	11,0	12,5	12,0	18,0	14,0	18,5	19,5	18,5	11,0	3,5
32	12,5	24,0	8,5	14,0	37,5	20,0	6,0	8,5	20,0	9,0
33	30,0	29,0	15,0	9,5	11,5	15,0	9,0	11,5	15,5	8,0
34	23,5	18,0	9,5	16,5	11,5	15,5	5,5	11,0	9,5	15,5
35	15,0	6,5	17,0	14,0	20,5	16,5	22,5	7,0	11,5	11,0
36	23,0	10,0	11,5	12,0	21,5	20,0	18,5	10,5	16,0	8,5
37	9,0	24,5	6,0	9,5	18,5	16,0	7,5	17,5	18,5	10,5
38	8,0	19,5	17,5	23,0	10,5	14,5	7,5	19,5	10,5	5,0
39	9,0	11,0	22,0	4,0	35,0	19,0	3,5	11,5	12,5	5,5
40	13,0	13,5	7,5	21,0	23,5	6,5	3,5	11,5	16,0	4,0

Nota: Los valores del título son reportados en [Tex] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 6. Resultados de la fuerza soportada por las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

Especímen	Día 5		Día 7		Día 9		Día 11		Día 13	
1	4,504	5,920	3,284	4,028	2,838	1,813	5,090	11,980	6,183	2,808
2	4,767	2,826	2,661	2,496	5,396	4,944	2,728	1,593	2,704	1,599
3	8,698	1,324	3,839	1,697	14,160	2,289	6,158	8,643	9,009	1,855
4	7,367	6,726	3,632	4,504	8,649	2,887	3,339	4,016	7,953	5,884
5	9,973	4,041	5,231	1,654	6,696	6,683	3,168	12,700	5,530	1,587
6	7,721	2,393	14,480	3,979	5,914	7,281	1,843	1,154	5,328	2,667
7	3,253	4,584	5,035	4,706	8,840	9,662	4,388	11,200	11,700	2,911
8	2,783	10,200	1,544	8,466	5,981	1,990	4,425	9,070	3,290	3,558
9	5,615	1,093	1,288	2,930	8,588	7,776	2,039	2,551	4,303	3,223
10	3,009	6,158	6,836	2,014	5,194	2,521	2,838	4,053	3,851	3,351
11	3,772	4,492	2,203	1,379	3,638	4,077	4,010	5,493	10,410	4,327
12	7,355	3,735	3,046	2,405	4,456	5,072	2,063	5,811	5,939	1,495
13	7,697	9,827	3,290	2,478	8,301	2,478	4,877	5,316	4,211	2,417
14	2,551	10,270	4,822	1,776	2,692	2,606	2,008	1,807	2,600	2,588
15	2,435	5,591	2,905	1,294	3,662	4,797	1,501	2,441	5,811	7,776
16	4,883	3,296	2,893	1,062	4,510	4,431	2,814	4,706	2,338	2,063
17	2,588	3,040	6,488	1,160	7,117	3,552	2,197	3,784	6,519	3,864
18	7,446	5,975	6,665	5,524	15,000	5,304	3,149	7,819	10,890	2,588
19	4,938	3,394	3,790	0,922	13,570	8,374	3,131	1,666	7,257	2,112
20	2,979	3,204	3,729	3,461	10,710	2,625	2,081	3,894	5,536	2,338
21	3,772	6,940	3,693	1,251	6,848	2,271	5,890	9,686	8,771	1,807
22	5,127	5,084	1,929	2,045	8,032	4,913	5,237	7,849	6,458	2,515
23	7,025	2,234	1,898	1,825	5,469	6,311	2,246	4,669	6,976	3,107
24	4,388	3,168	2,698	4,004	2,386	2,350	6,415	5,542	3,186	3,278
25	6,104	3,156	5,511	2,008	13,350	3,052	1,318	5,261	8,191	1,721
26	7,745	4,645	9,644	1,099	2,240	5,774	4,309	1,855	6,396	5,005
27	8,966	5,634	2,496	1,111	2,838	4,553	0,586	7,434	6,342	3,387
28	10,010	2,002	3,467	1,550	14,890	4,553	0,726	6,989	5,865	4,987
29	10,220	3,711	6,757	3,198	3,748	5,042	1,740	7,001	11,470	2,875
30	6,055	4,449	2,716	1,611	3,497	3,998	3,198	5,646	4,095	5,249
31	5,194	2,148	5,109	3,796	7,288	11,870	6,281	9,021	3,156	1,953
32	2,484	9,625	4,205	2,173	13,700	5,176	4,205	4,071	8,661	2,539
33	7,794	6,653	4,199	1,019	2,325	3,003	2,600	6,848	7,050	2,509
34	8,319	5,090	1,825	4,022	5,835	3,625	2,222	6,714	5,219	3,326
35	6,378	1,672	4,120	4,132	6,488	2,972	3,387	2,649	5,353	4,285
36	7,428	2,283	4,626	3,345	10,050	4,315	6,189	3,796	7,794	1,788
37	4,254	8,716	2,582	1,520	4,095	8,893	2,765	5,219	9,473	4,712
38	2,716	4,749	1,685	3,387	3,741	3,760	3,131	8,875	7,800	1,398
39	4,321	1,453	1,270	1,215	15,970	4,895	2,301	5,499	5,432	1,898
40	4,596	4,163	2,600	2,252	6,165	7,391	1,489	5,359	7,361	0,732

Nota: Los valores de fuerza son reportados en [N]

Tabla AII. 7. Resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

Especímen	Día 5		Día 7		Día 9		Día 11		Día 13	
1	31,06	34,82	36,49	23,02	24,68	13,95	53,58	54,45	68,70	62,40
2	56,08	18,23	33,26	26,27	59,96	18,31	22,73	19,91	38,63	12,30
3	48,32	20,37	19,69	33,94	57,80	26,93	35,19	34,57	58,12	24,73
4	44,65	38,43	25,05	52,99	40,23	18,63	44,52	40,16	75,74	30,97
5	52,49	28,86	58,12	20,68	60,87	24,30	45,26	45,36	42,54	18,67
6	55,15	14,96	54,64	25,67	36,96	31,66	46,08	46,16	50,74	25,40
7	14,79	22,92	59,24	26,14	80,36	42,01	31,34	44,80	50,87	36,39
8	42,82	37,09	18,16	30,24	70,36	16,58	63,21	38,60	25,31	41,86
9	22,46	8,74	11,20	30,84	68,70	27,77	18,54	34,01	27,76	20,14
10	37,61	36,22	33,35	17,51	47,22	11,20	31,53	38,60	29,62	31,91
11	39,71	44,92	25,92	7,45	29,10	16,31	36,45	45,78	65,06	41,21
12	43,26	16,60	50,77	22,90	44,56	26,69	34,38	44,70	51,64	27,18
13	45,28	32,22	47,00	12,09	55,34	17,09	54,19	48,33	49,54	28,44
14	30,01	34,81	37,09	13,66	31,67	17,97	28,69	25,81	34,67	28,76
15	27,06	23,30	29,05	14,38	26,16	35,53	13,65	32,55	41,51	59,82
16	48,83	43,95	72,33	10,11	34,69	32,82	33,11	52,29	38,97	14,74
17	47,05	19,00	46,34	25,78	36,50	13,66	48,82	21,62	40,74	24,15
18	55,16	21,34	40,39	26,95	69,77	20,80	52,48	55,85	62,23	51,76
19	65,84	37,71	20,49	15,36	53,22	39,88	34,79	33,32	37,22	35,20
20	25,90	40,05	32,43	38,46	53,55	16,41	29,73	32,45	36,91	27,51
21	47,15	31,55	46,16	13,90	41,50	17,47	53,55	33,40	62,65	20,08
22	32,04	33,89	42,87	51,13	28,69	37,79	61,61	54,13	46,13	33,53
23	66,90	31,91	13,09	15,21	39,06	38,25	64,17	51,88	63,42	25,89
24	36,57	10,74	15,42	34,82	39,77	16,79	53,46	69,28	42,48	38,56
25	55,49	17,53	22,04	17,46	54,49	38,15	29,29	55,38	38,10	24,59
26	40,76	24,45	56,73	19,98	28,00	25,10	37,47	37,10	47,38	29,44
27	44,83	26,20	27,73	8,55	20,27	23,35	13,02	51,27	66,76	45,16
28	31,28	14,83	33,02	18,24	41,36	26,78	14,53	66,56	43,44	23,75
29	65,94	28,55	40,95	17,29	29,98	28,01	58,00	73,69	47,79	21,30
30	55,05	24,72	25,87	9,21	46,63	11,26	17,29	49,10	30,33	36,20
31	47,22	17,18	42,58	21,09	52,06	64,16	32,21	48,76	28,69	55,80
32	19,87	40,10	49,47	15,52	36,53	25,88	70,08	47,89	43,31	28,21
33	25,98	22,94	27,99	10,73	20,22	20,02	28,89	59,55	45,48	31,36
34	35,40	28,28	19,21	24,38	50,74	23,39	40,40	61,04	54,94	21,46
35	42,52	25,72	24,24	29,51	31,65	18,01	15,05	37,84	46,55	38,95
36	32,30	22,83	40,23	27,88	46,74	21,58	33,45	36,15	48,71	21,04
37	47,27	35,58	43,03	16,00	22,14	55,58	36,87	29,82	51,21	44,88
38	33,95	24,35	9,63	14,73	35,63	25,93	41,75	45,51	74,29	27,96
39	48,01	13,21	5,77	30,38	45,63	25,76	65,74	47,82	43,46	34,51
40	35,35	30,84	34,67	10,72	26,23	113,71	42,54	46,60	46,01	18,31

Nota: Los valores de tenacidad son reportados en [cN/Tex] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 8. Resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo

Especímen	Día 5		Día 7		Día 9		Día 11		Día 13	
1	4,578	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	7,630	4,578
2	6,105	4,578	3,052	3,052	6,105	6,105	4,578	3,052	4,578	3,052
3	4,578	3,052	4,578	3,052	6,105	3,052	6,105	4,578	4,578	4,578
4	3,052	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	6,105	3,052
5	4,578	4,578	6,105	3,052	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578
6	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	3,052	3,052	6,105	3,052
7	4,578	3,052	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105	6,105	4,578
8	4,578	4,578	3,052	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105
9	4,578	3,052	3,052	3,052	6,105	4,578	3,052	4,578	4,578	3,052
10	4,578	6,105	4,578	3,052	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105
11	4,578	4,578	3,052	1,526	4,578	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578
12	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	6,105	4,578	6,105	6,105	3,052
13	4,578	4,578	3,052	3,052	6,105	4,578	6,105	4,578	6,105	4,578
14	4,578	6,105	4,578	3,052	4,578	3,052	6,105	3,052	4,578	4,578
15	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105
16	6,105	4,578	4,578	1,526	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	3,052
17	6,105	4,578	6,105	1,526	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105	3,052
18	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	6,105	6,105
19	6,105	4,578	4,578	3,052	6,105	6,105	6,105	3,052	6,105	4,578
20	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	3,052	4,578	4,578	4,578	3,052
21	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	6,105	7,630	4,578
22	3,052	4,578	6,105	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105	6,105
23	6,105	6,105	3,052	3,052	6,105	6,105	6,105	6,105	7,630	3,052
24	4,578	3,052	3,052	4,578	4,578	3,052	4,578	6,105	6,105	6,105
25	6,105	3,052	4,578	3,052	6,105	6,105	3,052	6,105	4,578	4,578
26	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105
27	4,578	3,052	4,578	1,526	4,578	4,578	3,052	6,105	6,105	6,105
28	4,578	3,052	3,052	3,052	4,578	4,578	3,052	6,105	4,578	4,578
29	6,105	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	3,052	6,105	4,578	4,578
30	4,578	4,578	3,052	1,526	6,105	6,105	3,052	4,578	4,578	6,105
31	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578
32	4,578	6,105	4,578	3,052	6,105	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578
33	4,578	3,052	4,578	1,526	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578
34	4,578	4,578	3,052	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	6,105	1,526
35	4,578	3,052	6,105	4,578	4,578	3,052	4,578	6,105	3,052	3,052
36	4,578	3,052	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578
37	4,578	4,578	3,052	3,052	4,578	4,578	6,105	3,052	4,578	4,578
38	4,578	4,578	3,052	3,052	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	3,052
39	4,578	3,052	3,052	4,578	6,105	4,578	6,105	4,578	3,052	3,052
40	6,105	3,052	3,052	3,052	4,578	3,052	3,052	3,052	6,105	3,052

Nota: Los valores son reportados en porcentaje respecto de una separación inicial de 20 [mm] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 9. Resultados del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado

Especímen	Día 13		Día15		Día 18		Día 20		Día 22	
1	22,0	6,5	26,0	4,0	2,0	5,5	8,5	7,5	5,5	13,0
2	14,0	6,5	25,0	11,5	5,5	13,0	18,5	5,0	11,0	8,0
3	24,0	27,0	13,5	11,5	8,5	19,0	6,5	3,5	14,5	9,0
4	6,5	12,0	28,0	27,0	6,0	19,0	18,5	10,5	6,5	5,5
5	5,0	10,5	21,5	7,0	4,5	12,5	5,5	7,5	9,5	2,0
6	12,0	8,5	15,5	3,0	8,5	14,0	9,5	5,0	7,0	5,0
7	8,5	15,5	13,0	8,0	17,0	13,0	16,5	7,5	9,5	7,0
8	17,0	19,5	18,0	4,5	17,5	13,0	7,5	5,5	7,0	16,0
9	25,0	7,5	11,0	4,0	15,0	13,0	16,5	9,0	22,0	8,5
10	9,0	13,5	12,5	5,0	3,0	6,5	16,0	13,5	16,5	8,5
11	8,0	7,0	14,5	9,0	6,0	4,5	12,0	16,5	6,5	8,0
12	13,0	7,0	10,5	17,0	8,0	15,0	21,0	12,0	10,0	2,5
13	6,5	5,5	16,5	9,5	5,0	17,0	11,0	13,0	18,0	3,0
14	7,0	16,5	9,0	16,5	7,5	30,5	6,5	14,0	16,5	4,0
15	9,0	10,0	5,0	10,5	25,0	9,0	8,0	12,5	7,0	2,5
16	15,0	13,0	4,0	17,0	9,5	15,0	8,0	12,0	30,5	2,0
17	7,0	12,0	11,5	9,0	18,5	10,5	28,5	17,5	15,0	4,0
18	12,0	20,0	4,0	3,5	7,0	16,0	18,0	10,5	27,0	2,0
19	9,5	9,5	4,5	19,0	16,0	15,5	6,5	14,0	4,5	5,5
20	14,5	15,0	5,5	11,0	18,0	17,5	15,0	18,5	7,0	6,0
21	14,5	7,0	2,0	16,0	19,0	3,0	32,5	10,5	5,0	13,0
22	8,5	6,5	9,0	7,5	10,5	9,5	27,0	10,5	10,5	15,0
23	15,0	15,0	4,0	5,0	11,5	6,0	13,5	29,0	10,0	13,0
24	11,0	32,5	4,5	7,0	14,5	6,5	3,5	12,0	11,5	2,0
25	6,0	6,5	9,0	10,0	19,0	11,5	6,5	14,5	14,5	17,0
26	5,5	8,0	3,0	12,0	16,0	20,0	21,0	9,0	15,0	12,5
27	12,5	5,0	23,0	18,5	7,0	11,5	22,0	7,5	21,5	4,5
28	12,5	15,0	9,5	14,5	24,5	7,5	31,5	7,0	20,5	8,5
29	12,5	10,5	11,0	8,0	7,5	17,0	27,0	10,0	14,0	6,5
30	22,5	18,0	13,0	15,5	7,5	6,5	12,0	11,5	12,5	5,5
31	11,0	13,0	14,5	14,0	3,0	14,5	17,5	13,0	6,5	4,0
32	8,5	8,5	5,0	15,5	10,0	12,0	3,5	4,5	7,5	12,0
33	10,5	11,0	5,0	5,0	13,0	7,5	3,0	3,5	7,0	4,0
34	5,0	9,0	13,5	7,5	9,0	9,0	9,0	11,5	12,0	6,0
35	12,0	18,0	17,0	13,0	11,0	12,0	18,5	17,0	10,5	13,0
36	9,0	20,0	13,0	19,5	7,5	5,5	11,5	7,5	7,5	8,0
37	9,0	4,5	10,0	12,5	5,5	5,0	8,5	11,0	16,0	7,0
38	7,5	14,0	4,5	14,5	7,5	4,0	17,5	22,5	15,0	6,5
39	3,5	14,5	11,0	13,5	12,0	9,0	6,5	18,5	5,5	5,0
40	7,0	13,5	9,5	14,0	5,5	16,0	17,0	10,5	10,0	8,5

Nota: Los valores del título son reportados en [Tex] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 9. Resultados del título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado (**continuación...**)

Especímen	Día 25		Día 27		Día 28		Día 32	
1	7,5	22,0	37,5	5,0	11,0	8,0	15,5	26,0
2	8,0	13,0	13,5	15,0	15,0	14,5	21,0	27,5
3	8,5	15,5	21,5	31,0	8,0	12,0	26,5	17,5
4	6,5	9,0	43,5	37,5	18,5	13,0	24,5	24,5
5	5,0	18,0	7,5	9,0	8,5	8,0	14,0	3,0
6	5,0	13,5	26,0	12,5	7,5	5,5	17,5	20,0
7	6,5	7,5	29,0	22,0	8,5	20,0	12,0	9,0
8	8,5	16,5	8,5	12,0	9,0	3,5	10,0	10,0
9	6,0	9,5	27,5	6,5	18,0	14,5	12,5	13,0
10	15,0	20,5	18,0	23,5	16,5	16,0	26,0	10,5
11	7,0	10,0	11,0	24,5	8,5	10,5	6,5	15,5
12	20,0	11,0	13,5	14,5	4,5	9,0	15,5	10,5
13	23,0	8,0	11,0	10,0	16,5	9,5	12,0	15,0
14	9,5	23,5	4,0	8,5	21,0	20,5	17,0	19,0
15	3,5	8,0	14,5	10,0	5,5	9,5	15,5	14,0
16	9,5	22,0	6,0	18,5	27,5	13,0	9,0	7,5
17	6,5	24,0	9,5	20,5	11,5	8,5	5,5	16,0
18	17,5	10,0	36,0	16,0	46,5	6,0	18,0	8,5
19	7,0	13,0	34,0	7,5	8,5	10,5	16,5	6,0
20	13,0	18,0	31,5	10,0	23,0	9,5	7,0	24,5
21	17,5	14,0	28,0	33,0	5,0	7,0	11,0	9,0
22	7,0	5,0	25,5	10,5	10,5	6,5	22,5	14,0
23	24,5	5,5	14,5	9,5	9,5	3,5	15,0	11,5
24	10,5	7,0	21,5	18,0	8,5	22,0	14,0	5,5
25	11,5	15,0	23,5	8,0	10,0	11,0	9,5	22,0
26	14,5	9,5	38,5	16,5	18,0	6,5	8,0	4,5
27	8,0	8,5	15,5	7,0	17,5	12,5	4,5	27,0
28	18,5	17,5	11,5	10,5	15,5	13,5	9,5	24,0
29	7,5	4,5	8,5	13,5	8,5	11,0	23,0	5,0
30	14,0	6,0	7,0	16,5	33,0	16,0	12,5	21,0
31	16,0	16,0	39,0	10,5	33,0	6,0	4,5	20,0
32	10,0	10,0	11,5	14,0	7,0	9,0	8,5	10,5
33	27,0	15,0	8,0	13,5	8,0	9,5	6,0	10,0
34	6,0	11,0	4,0	15,5	9,5	11,5	5,5	15,5
35	14,0	12,5	20,0	16,0	3,5	2,0	24,0	25,0
36	23,0	13,5	4,5	7,0	13,0	16,0	7,0	19,0
37	12,0	15,0	14,5	15,5	7,0	16,5	21,0	10,5
38	12,5	17,5	17,0	11,5	24,5	12,0	10,0	9,5
39	5,0	9,5	22,5	8,5	16,5	14,5	8,5	7,0
40	3,5	8,5	23,5	8,0	18,0	12,0	11,5	22,5

Nota: Los valores del título son reportados en [Tex] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 10. Resultados de la fuerza soportada por las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado

Especímen	Día 13		Día15		Día 18		Día 20		Día 22	
1	14,410	1,817	9,595	1,685	1,645	2,097	5,522	3,687	3,699	4,686
2	7,684	1,135	6,738	4,100	2,449	3,903	4,765	2,495	7,210	3,477
3	16,130	6,100	3,137	2,971	3,612	4,964	4,970	3,134	2,760	5,203
4	2,464	2,759	9,583	8,856	4,355	6,599	2,512	3,720	4,449	2,654
5	1,408	1,218	6,384	2,147	3,104	3,163	4,282	3,474	5,879	2,452
6	4,289	1,727	8,130	2,289	4,958	6,577	4,173	2,470	2,704	2,019
7	1,794	3,287	4,541	4,153	7,951	6,186	2,151	5,379	2,126	3,889
8	7,176	4,047	9,204	1,768	7,256	1,791	3,918	3,043	4,639	8,655
9	14,860	1,837	9,229	2,074	6,029	3,896	3,136	6,346	8,308	3,281
10	2,640	3,069	4,280	3,207	2,922	2,301	7,001	6,485	6,920	3,197
11	2,040	1,248	6,818	1,859	3,633	1,576	3,883	8,942	3,725	3,540
12	5,975	1,443	4,704	6,143	3,674	5,368	6,345	3,526	3,041	1,936
13	3,012	1,122	7,578	2,840	1,819	6,316	3,609	4,752	13,240	2,055
14	6,007	4,520	3,152	5,113	2,118	7,057	3,799	9,496	4,700	1,367
15	4,709	2,625	2,252	4,173	10,020	2,953	5,376	3,598	3,661	2,446
16	6,319	3,496	1,884	4,410	5,130	8,699	5,087	3,456	7,661	1,550
17	2,490	5,345	8,534	2,869	5,798	3,633	8,339	8,728	7,281	2,417
18	4,251	4,567	1,646	2,861	3,653	5,453	4,617	7,964	10,070	0,824
19	3,488	4,837	1,263	5,099	7,285	4,369	3,165	7,622	1,636	2,516
20	5,606	2,925	1,913	2,722	7,304	4,388	10,040	8,115	3,835	2,571
21	6,415	1,137	1,938	9,781	7,176	4,381	5,966	3,215	1,042	2,626
22	2,913	2,031	2,228	2,112	7,167	2,974	10,070	6,200	5,731	2,882
23	6,628	3,514	1,730	2,083	5,029	3,191	3,912	14,220	2,101	1,573
24	3,897	7,983	1,576	3,334	5,424	3,543	2,638	5,489	4,329	1,530
25	2,867	1,471	2,483	5,159	9,259	3,772	2,048	7,004	8,076	6,268
26	3,383	1,776	2,078	3,546	4,356	8,939	6,413	4,512	6,665	2,516
27	4,062	1,775	13,930	5,292	5,794	7,205	9,270	3,082	6,715	2,480
28	6,100	2,513	6,084	4,259	9,567	4,961	4,222	2,051	13,760	4,362
29	4,608	1,906	2,425	3,557	3,751	6,169	8,350	4,651	9,679	4,033
30	8,197	5,173	6,029	5,487	2,985	4,889	4,369	4,771	7,793	1,450
31	5,724	1,736	4,398	6,456	2,621	4,282	5,780	8,267	3,804	1,094
32	2,466	2,606	3,305	2,139	3,920	3,044	2,336	2,396	2,350	4,163
33	7,283	1,355	2,040	1,703	9,258	3,346	2,763	2,176	3,531	2,460
34	1,474	1,799	4,095	2,940	3,662	5,573	7,138	8,786	6,340	2,670
35	5,840	5,421	3,378	3,680	4,553	3,157	6,508	6,076	7,382	3,940
36	3,188	3,606	1,707	7,264	5,280	3,734	4,417	2,066	2,873	3,670
37	5,273	1,886	2,307	3,909	5,159	1,976	2,905	4,129	5,833	1,955
38	3,218	2,756	3,070	2,692	2,229	4,227	3,690	10,770	8,199	3,625
39	1,035	3,276	1,665	2,954	7,689	2,020	2,411	7,835	2,641	1,643
40	2,200	3,510	2,049	5,188	3,641	3,444	6,705	5,028	5,360	2,643

Nota: Los valores de fuerza son reportados en [N]

Tabla AII. 10. Resultados de la fuerza soportada por las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado (**continuación...**)

Especímen	Día 25		Día 27		Día 28		Día 32	
1	4,350	11,180	12,870	3,345	3,784	3,168	6,219	10,020
2	3,496	5,481	6,561	9,131	2,618	4,785	6,561	6,226
3	3,818	6,458	12,490	13,990	2,594	5,536	4,327	2,527
4	2,800	4,199	12,490	7,654	8,008	3,442	6,366	6,879
5	2,353	5,347	2,759	4,608	2,692	2,875	7,257	1,154
6	3,252	3,833	8,179	7,239	2,820	3,778	4,803	2,777
7	3,195	3,540	9,393	6,482	3,180	9,192	4,395	3,479
8	5,807	7,751	4,730	6,647	3,143	2,008	3,162	3,790
9	2,193	4,926	7,025	3,900	3,674	4,785	3,778	5,798
10	6,071	6,567	7,007	12,600	3,479	3,894	8,002	3,589
11	4,218	4,932	4,596	9,497	1,715	2,478	2,167	5,560
12	7,135	7,489	4,944	8,386	3,510	3,729	6,952	4,297
13	10,030	4,407	3,021	6,287	7,343	3,528	6,934	4,327
14	6,152	8,704	1,868	5,383	6,573	6,329	3,259	10,030
15	3,241	1,910	5,914	5,444	2,496	3,589	2,722	4,736
16	6,970	8,514	2,020	9,515	2,417	3,619	2,332	2,289
17	2,731	5,371	3,387	7,538	2,380	5,670	4,248	5,035
18	5,046	5,328	8,429	4,797	3,461	2,454	2,869	1,221
19	4,124	7,904	10,240	3,595	2,887	3,912	6,091	1,794
20	5,055	8,301	6,604	2,972	5,347	2,039	1,752	10,020
21	9,285	8,441	12,370	4,596	2,020	4,138	4,950	1,526
22	3,178	2,539	10,880	3,961	2,057	3,748	4,431	3,534
23	13,890	2,490	4,877	4,608	2,295	1,575	6,171	1,495
24	4,056	4,083	6,396	5,286	2,844	5,304	2,588	1,691
25	3,937	2,960	4,303	5,023	3,333	1,862	1,862	2,899
26	7,367	3,680	11,880	9,363	5,627	3,735	2,594	1,996
27	2,507	5,133	10,180	3,815	5,457	4,810	3,485	9,540
28	7,487	10,000	2,301	7,157	4,590	4,156	1,117	10,300
29	2,661	2,594	3,662	7,214	3,003	7,562	4,919	1,129
30	7,376	2,783	2,185	4,382	7,684	7,336	6,415	3,925
31	6,239	5,353	14,050	3,009	7,733	1,880	2,283	5,304
32	3,033	7,843	5,273	6,171	2,594	2,472	2,289	2,124
33	15,910	9,003	2,930	3,070	2,118	1,923	4,150	6,049
34	3,204	4,401	4,169	7,471	6,091	4,156	1,422	8,051
35	6,622	2,856	8,051	9,137	2,582	3,191	8,704	7,745
36	8,363	6,866	6,848	3,296	2,826	1,770	1,654	3,424
37	7,249	6,628	5,389	8,197	2,405	13,390	4,358	5,334
38	5,228	6,281	6,586	6,927	3,986	2,820	3,601	1,196
39	5,388	2,271	7,642	4,340	4,297	3,473	1,941	1,190
40	2,097	3,156	9,277	3,033	4,565	4,651	1,349	5,792

Nota: Los valores de fuerza son reportados en [N]

Tabla AII. 11. Resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado

Especímen	Día 13		Día 15		Día 18		Día 20		D22	
1	65,50	27,95	36,90	42,13	82,25	38,13	64,96	49,16	67,25	36,05
2	54,89	17,46	26,95	35,65	44,53	30,02	25,76	49,90	65,55	43,46
3	67,21	22,59	23,24	25,83	42,49	26,13	76,46	89,54	19,03	57,81
4	37,91	22,99	34,23	32,80	72,58	34,73	13,58	35,43	68,45	48,25
5	28,16	11,60	29,69	30,67	68,98	25,30	77,85	46,32	61,88	122,60
6	35,74	20,32	52,45	76,30	58,33	46,98	43,93	49,40	38,63	40,38
7	21,11	21,21	34,93	51,91	46,77	47,58	13,04	71,72	22,38	55,56
8	42,21	20,75	51,13	39,29	41,46	13,78	52,24	55,33	66,27	54,09
9	59,44	24,49	83,90	51,85	40,19	29,97	19,01	70,51	37,76	38,60
10	29,33	22,73	34,24	64,14	97,40	35,40	43,76	48,04	41,94	37,61
11	25,50	17,83	47,02	20,66	60,55	35,02	32,36	54,19	57,31	44,25
12	45,96	20,61	44,80	36,14	45,93	35,79	30,21	29,38	30,41	77,44
13	46,34	20,40	45,93	29,89	36,38	37,15	32,81	36,55	73,56	68,50
14	85,81	27,39	35,02	30,99	28,24	23,14	58,45	67,83	28,48	34,18
15	52,32	26,25	45,04	39,74	40,08	32,81	67,20	28,78	52,30	97,84
16	42,13	26,89	47,10	25,94	54,00	57,99	63,59	28,80	25,12	77,50
17	35,57	44,54	74,21	31,88	31,34	34,60	29,26	49,87	48,54	60,43
18	35,43	22,84	41,15	81,74	52,19	34,08	25,65	75,85	37,30	41,20
19	36,72	50,92	28,07	26,84	45,53	28,19	48,69	54,44	36,36	45,75
20	38,66	19,50	34,78	24,75	40,58	25,07	66,93	43,86	54,79	42,85
21	44,24	16,24	96,90	61,13	37,77	146,03	18,36	30,62	20,84	20,20
22	34,27	31,25	24,76	28,16	68,26	31,31	37,30	59,05	54,58	19,21
23	44,19	23,43	43,25	41,66	43,73	53,18	28,98	49,03	21,01	12,10
24	35,43	24,56	35,02	47,63	37,41	54,51	75,37	45,74	37,64	76,50
25	47,78	22,63	27,59	51,59	48,73	32,80	31,51	48,30	55,70	36,87
26	61,51	22,20	69,27	29,55	27,23	44,70	30,54	50,13	44,43	20,13
27	32,50	35,50	60,57	28,61	82,77	62,65	42,14	41,09	31,23	55,11
28	48,80	16,75	64,04	29,37	39,05	66,15	13,40	29,30	67,12	51,32
29	36,86	18,15	22,05	44,46	50,01	36,29	30,93	46,51	69,14	62,05
30	36,43	28,74	46,38	35,40	39,80	75,22	36,41	41,49	62,34	26,36
31	52,04	13,35	30,33	46,11	87,37	29,53	33,03	63,59	58,52	27,35
32	29,01	30,66	66,10	13,80	39,20	25,37	66,74	53,24	31,33	34,69
33	69,36	12,32	40,80	34,06	71,22	44,61	92,10	62,17	50,44	61,50
34	29,48	19,99	30,33	39,20	40,69	61,92	79,31	76,40	52,83	44,50
35	48,67	30,12	19,87	28,31	41,39	26,31	35,18	35,74	70,30	30,31
36	35,42	18,03	13,13	37,25	70,40	67,89	38,41	27,55	38,31	45,88
37	58,59	41,91	23,07	31,27	93,80	39,52	34,18	37,54	36,46	27,93
38	42,91	19,69	68,22	18,57	29,72	105,68	21,09	47,87	54,66	55,77
39	29,57	22,59	15,14	21,88	64,08	22,44	37,09	42,35	48,02	32,86
40	31,43	26,00	21,57	37,06	66,20	21,53	39,44	47,89	53,60	31,09

Nota: Los valores de tenacidad son reportados en [cN/Tex] y los valores sombreados se excluyen en el ANOVA

Tabla AII. 11. Resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado (**continuación...**)

Especímen	Día 25		Día 27		Día 28		Día 32	
1	58,00	50,82	34,32	66,90	34,40	39,60	40,12	38,54
2	43,70	42,16	48,60	60,87	17,45	33,00	31,24	22,64
3	44,92	41,66	58,09	45,13	32,43	46,13	16,33	14,44
4	43,08	46,66	28,71	20,41	43,29	26,48	25,98	28,08
5	47,06	29,71	36,79	51,20	31,67	35,94	51,84	38,47
6	65,04	28,39	31,46	57,91	37,60	68,69	27,45	13,89
7	49,15	47,20	32,39	29,46	37,41	45,96	36,63	38,66
8	68,32	46,98	55,65	55,39	34,92	57,37	31,62	37,90
9	36,55	51,85	25,55	60,00	20,41	33,00	30,22	44,60
10	40,47	32,03	38,93	53,62	21,08	24,34	30,78	34,18
11	60,26	49,32	41,78	38,76	20,18	23,60	33,34	35,87
12	35,68	68,08	36,62	57,83	78,00	41,43	44,85	40,92
13	43,61	55,09	27,46	62,87	44,50	37,14	57,78	28,85
14	64,76	37,04	46,70	63,33	31,30	30,87	19,17	52,79
15	92,60	23,88	40,79	54,44	45,38	37,78	17,56	33,83
16	73,37	38,70	33,67	51,43	8,79	27,84	25,91	30,52
17	42,02	22,38	35,65	36,77	20,70	66,71	77,24	31,47
18	28,83	53,28	23,41	29,98	7,44	40,90	15,94	14,36
19	58,91	60,80	30,12	47,93	33,96	37,26	36,92	29,90
20	38,88	46,12	20,97	29,72	23,25	21,46	25,03	40,90
21	53,06	60,29	44,18	13,93	40,40	59,11	45,00	16,96
22	45,40	50,78	42,67	37,72	19,59	57,66	19,69	25,24
23	56,69	45,27	33,63	48,51	24,16	45,00	41,14	13,00
24	38,63	58,33	29,75	29,37	33,46	24,11	18,49	30,75
25	34,23	19,73	18,31	62,79	33,33	16,93	19,60	13,18
26	50,81	38,74	30,86	56,75	31,26	57,46	32,43	44,36
27	31,34	60,39	65,68	54,50	31,18	38,48	77,44	35,33
28	40,47	57,14	20,01	68,16	29,61	30,79	11,76	42,92
29	35,48	57,64	43,08	53,44	35,33	68,75	21,39	22,58
30	52,69	46,38	31,21	26,56	23,28	45,85	51,32	18,69
31	38,99	33,46	36,03	28,66	23,43	31,33	50,73	26,52
32	30,33	78,43	45,85	44,08	37,06	27,47	26,93	20,23
33	58,93	60,02	36,63	22,74	26,48	20,24	69,17	60,49
34	53,40	40,01	104,23	48,20	64,12	36,14	25,85	51,94
35	47,30	22,85	40,26	57,11	73,77	159,55	36,27	30,98
36	36,36	50,86	152,18	47,09	21,74	11,06	23,63	18,02
37	60,41	44,19	37,17	52,88	34,36	81,15	20,75	50,80
38	41,82	35,89	38,74	60,23	16,27	23,50	36,01	12,59
39	107,76	23,91	33,96	51,06	26,04	23,95	22,84	17,00
40	59,91	37,13	39,48	37,91	25,36	38,76	11,73	25,74

Nota: Los valores de tenacidad son reportados en [cN/Tex] y los valores sombreados se excluyen en el ANOVA

Tabla AII. 12. Resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado

Especímen	Día 13		Día15		Día 18		Día 20		Día 22	
1	6,105	4,578	4,006	3,052	4,578	3,052	6,105	4,578	6,105	4,578
2	4,578	4,578	3,243	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578
3	6,105	3,052	3,243	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578
4	4,578	6,105	3,815	6,105	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578
5	3,052	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	6,105	4,578	7,630	4,578
6	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578	4,578	3,052
7	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578
8	4,578	4,578	4,578	3,052	7,630	3,052	6,105	3,052	6,105	4,578
9	7,630	4,578	6,105	3,052	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	3,052
10	4,578	6,105	3,052	6,105	6,105	3,052	6,105	4,578	4,578	4,578
11	7,630	4,578	4,578	3,052	6,105	3,052	4,578	6,105	4,578	3,052
12	6,105	4,578	4,578	6,105	6,105	6,105	6,105	4,578	4,578	3,052
13	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	6,105
14	6,105	6,105	3,052	6,105	3,052	4,578	6,105	6,105	6,105	3,052
15	4,578	4,578	6,105	6,105	6,105	3,052	6,105	3,052	6,105	4,578
16	4,578	4,578	3,052	3,052	7,630	6,105	4,578	3,052	4,578	3,052
17	6,105	6,105	6,105	3,052	6,105	4,578	6,105	4,578	6,105	4,578
18	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	3,052
19	4,578	6,105	3,052	6,105	6,105	6,105	6,105	6,105	3,052	4,578
20	4,578	4,578	4,578	3,052	6,105	6,105	6,105	6,105	4,578	4,578
21	6,105	4,578	4,578	4,578	6,105	7,630	4,578	6,105	3,052	4,578
22	6,105	4,578	4,578	3,052	6,105	4,578	6,105	6,105	6,105	4,578
23	6,105	4,578	3,052	3,052	6,105	4,578	4,578	6,105	3,052	1,526
24	6,105	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	4,578	6,105	3,052
25	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	3,052	6,105	6,105	4,578
26	6,105	4,578	4,578	6,105	3,052	6,105	4,578	4,578	6,105	3,052
27	4,578	4,578	6,105	6,105	6,105	6,105	6,105	4,578	6,105	6,105
28	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578
29	6,105	4,578	3,052	6,105	6,105	6,105	4,578	6,105	6,105	4,578
30	6,105	4,578	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	6,105	6,105	3,052
31	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105	6,105	6,105	4,578	3,052
32	6,105	4,578	7,630	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	6,105	3,052
33	6,105	4,578	4,578	3,052	7,630	6,105	6,105	4,578	4,578	4,578
34	6,105	4,578	3,052	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	6,105	3,052
35	6,105	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	4,578	3,052	6,105	4,578
36	4,578	4,578	3,052	4,578	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578
37	6,105	4,578	4,578	4,578	6,105	1,526	3,052	6,105	4,578	4,578
38	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105
39	4,578	4,578	3,052	4,578	7,630	3,052	4,578	4,578	4,578	3,052
40	4,578	6,105	3,052	4,578	4,578	3,052	3,052	4,578	6,105	4,578

Nota: Los valores son reportados en porcentaje respecto de una separación inicial de 20 [mm] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 12. Resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado (**continuación...**)

Especímen	Día 25		Día 27		Día 28		Día 32	
1	3,052	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105
2	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578	3,052	6,105	4,578
3	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578
4	4,578	3,052	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578	4,578
5	6,105	3,052	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	3,052
6	6,105	3,052	4,578	4,578	3,052	3,052	4,578	3,052
7	4,578	4,578	4,578	6,105	3,052	3,052	4,578	4,578
8	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578
9	6,105	0,978	4,578	6,105	4,578	4,578	3,052	4,578
10	6,105	4,578	6,105	6,105	4,578	3,052	4,578	4,578
11	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578	3,052	3,052
12	4,578	6,105	3,052	6,105	4,578	4,578	3,052	6,105
13	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	3,052
14	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	3,052	3,052
15	7,630	6,105	4,578	6,105	4,578	6,105	3,052	6,105
16	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578
17	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	3,052
18	3,052	4,578	3,052	4,578	4,578	6,105	4,578	3,052
19	4,578	6,105	4,578	6,105	7,630	6,105	4,578	3,052
20	3,052	4,578	4,578	4,578	4,578	3,052	1,526	6,105
21	4,578	6,105	6,105	3,052	4,578	4,578	6,105	3,052
22	4,578	6,105	6,105	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578
23	6,105	4,578	6,105	4,578	4,196	3,052	3,052	1,526
24	4,578	4,578	6,105	4,578	4,006	4,578	3,052	4,578
25	4,578	4,578	4,578	6,105	6,105	4,578	3,052	4,578
26	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	3,052	1,526
27	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105	4,578	4,578
28	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105	3,052	6,105
29	4,578	6,105	4,578	6,105	4,578	6,105	4,578	3,052
30	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	3,052
31	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	4,578
32	4,578	6,105	4,578	6,105	3,052	4,578	1,526	4,578
33	4,578	6,105	4,578	3,052	4,578	4,578	4,578	6,105
34	4,578	4,578	6,105	6,105	6,105	4,578	3,052	6,105
35	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578	4,578	6,105	4,578
36	6,105	6,105	4,578	4,578	3,052	3,052	4,578	4,578
37	6,105	6,105	4,578	4,578	4,578	6,105	4,578	6,105
38	6,105	4,578	4,578	4,578	4,578	4,578	6,105	1,526
39	6,105	4,578	4,578	4,578	3,052	4,578	3,052	1,526
40	4,578	6,105	4,578	4,578	4,578	6,105	3,052	4,578

Nota: Los valores son reportados en porcentaje respecto de una separación inicial de 20 [mm] y los valores sombreados se excluyen en ANOVA

Tabla AII. 13. Resultados del título de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico

Especímen	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4
1	13,0	11,5	4,8	8,3
2	8,0	6,5	5,5	8,5
3	5,8	6,3	8,0	7,0
4	5,3	6,8	7,3	4,5
5	9,3	10,5	7,3	7,3
6	4,3	5,8	5,5	5,3
7	4,5	4,8	5,0	4,3
8	5,0	8,0	8,8	5,8
9	5,3	3,8	4,5	6,8
10	10,5	7,5	3,5	3,8
11	7,3	10,3	4,3	8,5
12	4,5	9,8	5,3	5,5
13	3,8	3,0	4,5	10,5
14	4,0	5,5	6,0	6,8
15	5,0	5,3	10,3	13,3
16	4,5	3,5	7,8	5,3
17	5,3	7,3	5,5	10,3
18	4,5	5,8	5,5	5,0
19	4,5	12,8	7,5	5,3
20	7,3	8,5	4,5	6,8
21	2,8	12,3	9,0	9,8
22	3,0	6,0	5,5	6,5
23	8,3	8,3	6,5	4,5
24	10,0	5,3	5,8	6,5
25	5,8	6,8	7,3	9,8
26	4,5	7,8	7,8	9,5
27	5,8	9,0	4,0	5,3
28	4,0	8,5	7,8	5,8
29	6,0	5,3	5,5	4,5
30	4,5	6,0	10,5	8,0
31	4,5	5,0	5,0	10,8
32	8,0	7,3	5,3	8,8
33	9,8	4,5	5,3	4,8
34	2,5	7,0	5,8	11,0
35	5,5	5,0	4,8	7,0
36	4,5	7,8	5,8	8,0
37	7,5	8,0	6,8	10,8
38	6,0	7,8	5,0	11,0
39	9,0	10,5	6,8	4,8
40	6,8	7,5	7,5	9,3

Nota: Los valores del título son reportados en [Tex]

Tabla AII. 14. Resultados de la fuerza máxima soportada por las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico

Especímen	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4
1	2,832	2,728	2,002	2,057
2	1,953	1,508	1,794	3,830
3	3,033	2,277	1,324	2,817
4	3,195	2,496	2,582	2,759
5	2,557	1,672	1,923	2,942
6	2,429	2,197	1,764	4,355
7	3,497	1,624	2,307	1,965
8	2,753	3,183	2,432	1,843
9	1,678	1,788	1,929	2,481
10	2,631	2,161	1,257	2,301
11	2,429	4,031	2,057	3,247
12	1,776	3,061	3,311	1,715
13	2,380	1,410	1,648	2,057
14	3,122	1,453	1,270	1,910
15	2,856	3,278	4,062	2,014
16	3,601	1,654	2,155	3,397
17	2,032	1,611	2,637	2,234
18	2,222	2,448	2,966	3,149
19	3,131	2,695	1,758	2,682
20	3,152	3,439	2,094	2,975
21	1,746	2,045	2,020	3,555
22	3,076	2,338	2,679	1,654
23	2,441	2,026	1,416	2,643
24	4,053	2,130	3,201	3,537
25	3,241	3,436	2,185	3,677
26	2,795	3,488	2,643	4,419
27	1,740	2,307	1,630	3,009
28	2,951	3,964	1,648	1,917
29	1,654	1,428	3,040	2,313
30	3,308	2,948	2,667	2,982
31	2,356	3,589	2,533	2,643
32	2,899	1,923	2,783	1,923
33	2,817	2,203	1,752	2,319
34	1,886	2,075	2,911	1,892
35	3,271	1,611	2,258	2,264
36	3,079	3,006	1,495	1,611
37	2,289	3,391	2,216	3,458
38	1,996	1,837	1,648	1,758
39	3,558	2,026	2,829	1,959
40	3,952	1,959	3,113	2,927

Nota: Los valores de fuerza son reportados en [N]

Tabla AII. 15. Resultados de la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico

Especímen	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4
1	21,78	23,72	42,15	24,93
2	24,41	23,20	32,62	45,06
3	52,75	36,43	16,55	40,24
4	60,86	36,98	35,61	61,31
5	27,64	15,92	26,52	40,58
6	57,15	38,21	32,07	82,95
7	77,71	34,19	46,14	46,24
8	55,06	39,79	27,79	32,05
9	31,96	47,68	42,87	36,76
10	25,06	28,81	35,91	61,36
11	33,50	39,33	48,40	38,20
12	39,47	31,39	63,07	31,18
13	63,47	47,00	36,62	19,59
14	78,05	26,42	21,17	28,30
15	57,12	62,44	39,63	15,20
16	80,02	47,26	27,81	64,70
17	38,70	22,22	47,95	21,80
18	49,38	42,57	53,93	62,98
19	69,58	21,14	23,44	51,09
20	43,48	40,46	46,53	44,07
21	63,49	16,69	22,44	36,46
22	102,53	38,97	48,71	25,45
23	29,59	24,56	21,78	58,73
24	40,53	40,57	55,67	54,42
25	56,37	50,90	30,14	37,71
26	62,11	45,01	34,10	46,52
27	30,26	25,63	40,75	57,31
28	73,78	46,64	21,26	33,34
29	27,57	27,20	55,27	51,40
30	73,51	49,13	25,40	37,28
31	52,36	71,78	50,66	24,59
32	36,24	26,52	53,01	21,98
33	28,89	48,96	33,37	48,82
34	75,44	29,64	50,63	17,20
35	59,47	32,22	47,54	32,34
36	68,42	38,79	26,00	20,14
37	30,52	42,39	32,83	32,17
38	33,27	23,70	32,96	15,98
39	39,53	19,30	41,91	41,24
40	58,55	26,12	41,51	31,64

Nota: Los valores de la tenacidad son reportados en [cN/Tex]

Tabla AII. 16. Resultados del porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por descortezado mecánico

Especímen	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3	Hoja 4
1	3,052	4,578	4,578	4,578
2	3,052	3,052	4,578	4,578
3	4,578	4,578	3,052	4,578
4	6,105	4,578	4,578	6,105
5	4,578	3,052	3,052	4,578
6	4,578	4,578	4,578	6,105
7	4,578	4,578	4,578	4,578
8	4,578	4,578	3,052	3,052
9	4,578	4,578	4,578	4,578
10	3,052	3,052	4,578	6,105
11	4,578	4,578	4,578	4,578
12	3,815	4,578	4,578	4,578
13	4,387	3,052	4,578	4,578
14	6,105	3,052	3,052	4,578
15	4,578	4,578	4,578	3,052
16	6,105	3,052	4,578	6,105
17	4,578	3,052	4,578	3,052
18	4,578	4,578	3,052	6,105
19	6,105	3,052	3,052	4,578
20	4,578	4,578	3,052	4,578
21	4,578	3,052	4,578	4,578
22	4,578	4,578	6,105	4,578
23	3,052	3,052	3,052	6,105
24	4,578	4,578	4,578	6,105
25	4,578	4,578	4,578	4,578
26	4,578	6,105	4,578	4,578
27	4,578	4,578	3,052	4,578
28	4,578	6,105	3,052	6,105
29	3,052	4,578	4,578	4,578
30	4,578	6,105	4,578	4,578
31	4,578	6,105	6,105	4,578
32	3,052	4,578	4,578	3,052
33	3,052	6,105	4,578	4,578
34	6,105	4,578	4,578	4,578
35	4,578	4,578	4,578	4,578
36	4,578	4,578	3,052	3,052
37	3,052	4,578	3,052	4,578
38	4,578	3,052	4,578	3,052
39	3,052	4,578	4,578	4,578
40	6,105	3,052	4,578	4,578

Nota: Los valores son reportados en porcentaje respecto de una separación inicial de 20 [mm]

ANEXO III

**Resultados del análisis de grupos homogéneos por el Método de Mínima
Diferencia Significativa de Fisher con 95% de Nivel de Confianza
(Statgraphics)**

Tabla AIII. 1. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para el título de las fibras de formio obtenidas por extracción manual, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 3 - Día 4	*	-5,77468	3,50986
Día 3 - Día 5	*	-6,66218	3,50986
Día 3 - Día 6	*	3,86282	3,50986
Día 3 - Día 7		2,15385	3,532
Día 3 - Día 8		0,0753205	3,50986
Día 4 - Día 5		-0,8875	3,48757
Día 4 - Día 6	*	9,6375	3,48757
Día 4 - Día 7	*	7,92853	3,50986
Día 4 - Día 8	*	5,85	3,48757
Día 5 - Día 6	*	10,525	3,48757
Día 5 - Día 7	*	8,81603	3,50986
Día 5 - Día 8	*	6,7375	3,48757
Día 6 - Día 7		-1,70897	3,50986
Día 6 - Día 8	*	-3,7875	3,48757
Día 7 - Día 8		-2,07853	3,50986

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 2. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por extracción manual, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 3 - Día 4		1,36126	3,46122
Día 3 - Día 5	*	5,97106	3,41711
Día 3 - Día 6		1,5702	3,46122
Día 3 - Día 7		-0,529314	3,48483
Día 3 - Día 8		1,92872	3,43867
Día 4 - Día 5	*	4,6098	3,4398
Día 4 - Día 6		0,208947	3,48362
Día 4 - Día 7		-1,89057	3,50708
Día 4 - Día 8		0,567463	3,46122
Día 5 - Día 6	*	-4,40086	3,4398
Día 5 - Día 7	*	-6,50037	3,46355
Día 5 - Día 8	*	-4,04234	3,41711
Día 6 - Día 7		-2,09952	3,50708
Día 6 - Día 8		0,358516	3,46122
Día 7 - Día 8		2,45803	3,48483

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 3. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para el porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por extracción manual, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 3 - Día 4		0,200317	0,442897
Día 3 - Día 5		0,338642	0,442897
Día 3 - Día 6		-0,114508	0,442897
Día 3 - Día 7		-0,426713	0,445324
Día 3 - Día 8	*	-0,572558	0,442897
Día 4 - Día 5		0,138325	0,410043
Día 4 - Día 6		-0,314825	0,410043
Día 4 - Día 7	*	-0,627029	0,412663
Día 4 - Día 8	*	-0,772875	0,410043
Día 5 - Día 6	*	-0,45315	0,410043
Día 5 - Día 7	*	-0,765354	0,412663
Día 5 - Día 8	*	-0,9112	0,410043
Día 6 - Día 7		-0,312204	0,412663
Día 6 - Día 8	*	-0,45805	0,410043
Día 7 - Día 8		-0,145846	0,412663

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 4. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para el título de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 5 - Día 7	*	2,78374	1,64923
Día 5 - Día 9		-1,24616	1,66522
Día 5 - Día 11	*	5,82047	1,69447
Día 5 - Día 13	*	3,40154	1,64413
Día 7 - Día 9	*	-4,0299	1,65472
Día 7 - Día 11	*	3,03673	1,68415
Día 7 - Día 13		0,617801	1,6335
Día 9 - Día 11	*	7,06662	1,69981
Día 9 - Día 13	*	4,6477	1,64964
Día 11 - Día 13	*	-2,41893	1,67916

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 5. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 5 - Día 7	*	7,27059	4,3016
Día 5 - Día 9		1,91234	4,34494
Día 5 - Día 11	*	-7,52975	4,27429
Día 5 - Día 13	*	-5,06025	4,27429
Día 7 - Día 9	*	-5,35825	4,37181
Día 7 - Día 11	*	-14,8003	4,3016
Día 7 - Día 13	*	-12,3308	4,3016
Día 9 - Día 11	*	-9,44209	4,34494
Día 9 - Día 13	*	-6,97259	4,34494
Día 11 - Día 13		2,4695	4,27429

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 6. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para el porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado con machacado previo, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 5 - Día 7	*	0,68775	0,337055
Día 5 - Día 9	*	-0,439875	0,337055
Día 5 - Día 11	*	-0,3825	0,337055
Día 5 - Día 13		-0,328619	0,33812
Día 7 - Día 9	*	-1,12762	0,337055
Día 7 - Día 11	*	-1,07025	0,337055
Día 7 - Día 13	*	-1,01637	0,33812
Día 9 - Día 11		0,057375	0,337055
Día 9 - Día 13		0,111256	0,33812
Día 11 - Día 13		0,0538813	0,33812

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 7. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para el título de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 13 - Día 15		-0,174615	1,69522
Día 13 - Día 18		-0,231983	1,68995
Día 13 - Día 20		-0,866667	1,71176
Día 13 - Día 22	*	1,8986	1,70612
Día 13 - Día 25		-0,654035	1,70612
Día 13 - Día 27	*	-2,95304	1,74858
Día 13 - Día 28		-0,647456	1,70612
Día 13 - Día 32	*	-3,31292	1,6848
Día 15 - Día 18		-0,0573677	1,6732
Día 15 - Día 20		-0,692051	1,69522
Día 15 - Día 22	*	2,07321	1,68952
Día 15 - Día 25		-0,47942	1,68952
Día 15 - Día 27	*	-2,77843	1,73239
Día 15 - Día 28		-0,472841	1,68952
Día 15 - Día 32	*	-3,1383	1,66799
Día 18 - Día 20		-0,634684	1,68995
Día 18 - Día 22	*	2,13058	1,68424
Día 18 - Día 25		-0,422052	1,68424
Día 18 - Día 27	*	-2,72106	1,72723
Día 18 - Día 28		-0,415473	1,68424
Día 18 - Día 32	*	-3,08093	1,66264
Día 20 - Día 22	*	2,76526	1,70612
Día 20 - Día 25		0,212632	1,70612
Día 20 - Día 27	*	-2,08638	1,74858
Día 20 - Día 28		0,219211	1,70612
Día 20 - Día 32	*	-2,44625	1,6848
Día 22 - Día 25	*	-2,55263	1,70046
Día 22 - Día 27	*	-4,85164	1,74305
Día 22 - Día 28	*	-2,54605	1,70046
Día 22 - Día 32	*	-5,21151	1,67907
Día 25 - Día 27	*	-2,29901	1,74305
Día 25 - Día 28		0,00657895	1,70046
Día 25 - Día 32	*	-2,65888	1,67907
Día 27 - Día 28	*	2,30559	1,74305
Día 27 - Día 32		-0,359873	1,72219
Día 28 - Día 32	*	-2,66546	1,67907

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 8. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 13 - Día 15	*	-4,61718	4,40706
Día 13 - Día 18	*	-11,6033	4,40706
Día 13 - Día 20	*	-14,6597	4,30825
Día 13 - Día 22	*	-14,4244	4,33489
Día 13 - Día 25	*	-14,8731	4,33489
Día 13 - Día 27	*	-10,6212	4,33489
Día 13 - Día 28		-0,0587117	4,43841
Día 13 - Día 32		0,891354	4,34867
Día 15 - Día 18	*	-6,98616	4,43674
Día 15 - Día 20	*	-10,0426	4,3386
Día 15 - Día 22	*	-9,80722	4,36506
Día 15 - Día 25	*	-10,2559	4,36506
Día 15 - Día 27	*	-6,00402	4,36506
Día 15 - Día 28	*	4,55847	4,46787
Día 15 - Día 32	*	5,50854	4,37874
Día 18 - Día 20		-3,0564	4,3386
Día 18 - Día 22		-2,82106	4,36506
Día 18 - Día 25		-3,26978	4,36506
Día 18 - Día 27		0,982146	4,36506
Día 18 - Día 28	*	11,5446	4,46787
Día 18 - Día 32	*	12,4947	4,37874
Día 20 - Día 22		0,235337	4,26527
Día 20 - Día 25		-0,213381	4,26527
Día 20 - Día 27		4,03854	4,26527
Día 20 - Día 28	*	14,601	4,37043
Día 20 - Día 32	*	15,5511	4,27927
Día 22 - Día 25		-0,448718	4,29218
Día 22 - Día 27		3,80321	4,29218
Día 22 - Día 28	*	14,3657	4,3967
Día 22 - Día 32	*	15,3158	4,30609
Día 25 - Día 27		4,25192	4,29218
Día 25 - Día 28	*	14,8144	4,3967
Día 25 - Día 32	*	15,7645	4,30609
Día 27 - Día 28	*	10,5625	4,3967
Día 27 - Día 32	*	11,5126	4,30609
Día 28 - Día 32		0,950066	4,41029

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 9. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para el porcentaje de elongación de las fibras de formio obtenidas por enriado sin machacado, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
Día 13 - Día 15	*	0,5201635	0,3315988
Día 13 - Día 18		-0,3231451	0,3326333
Día 13 - Día 20		-0,04658654	0,3315988
Día 13 - Día 22		0,2960954	0,3326333
Día 13 - Día 25		-0,05251217	0,3326333
Día 13 - Día 27		-0,02746154	0,3315988
Día 13 - Día 28	*	0,3861635	0,3315988
Día 13 - Día 32	*	0,8324135	0,3315988
Día 15 - Día 18	*	-0,8433085	0,3305344
Día 15 - Día 20	*	-0,56675	0,3294934
Día 15 - Día 22		-0,224068	0,3305344
Día 15 - Día 25	*	-0,5726756	0,3305344
Día 15 - Día 27	*	-0,547625	0,3294934
Día 15 - Día 28		-0,134	0,3294934
Día 15 - Día 32		0,31225	0,3294934
Día 18 - Día 20		0,2765585	0,3305344
Día 18 - Día 22	*	0,6192405	0,3315722
Día 18 - Día 25		0,2706329	0,3315722
Día 18 - Día 27		0,2956835	0,3305344
Día 18 - Día 28	*	0,7093085	0,3305344
Día 18 - Día 32	*	1,155559	0,3305344
Día 20 - Día 22	*	0,342682	0,3305344
Día 20 - Día 25		-0,005925633	0,3305344
Día 20 - Día 27		0,019125	0,3294934
Día 20 - Día 28	*	0,43275	0,3294934
Día 20 - Día 32	*	0,879	0,3294934
Día 22 - Día 25	*	-0,3486076	0,3315722
Día 22 - Día 27		-0,323557	0,3305344
Día 22 - Día 28		0,09006804	0,3305344
Día 22 - Día 32	*	0,536318	0,3305344
Día 25 - Día 27		0,02505063	0,3305344
Día 25 - Día 28	*	0,4386756	0,3305344
Día 25 - Día 32	*	0,8849256	0,3305344
Día 27 - Día 28	*	0,413625	0,3294934
Día 27 - Día 32	*	0,859875	0,3294934
Día 28 - Día 32	*	0,44625	0,3294934

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 10. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para el título de las fibras de formio obtenidas por los diferentes procesos de extracción, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
M Día 6 - EM Día 5	*	-3,0578	1,7025
M Día 6 - ESM Día 22	*	3,1713	1,7103
M Día 6 - Descortezado	*	5,8941	1,5601
EM Día 5 - ESM Día 22	*	6,2291	1,4172
EM Día 5 - Descortezado	*	8,9519	1,2318
ESM Día 22 - Descortezado	*	2,7228	1,2424

* Indica diferencias estadísticas significativas

Tabla AIII. 11. Resultados del Análisis de la Mínima Diferencia Significativa de Fisher, para la tenacidad de las fibras de formio obtenidas por los diferentes procesos de extracción, con un 95% de Nivel de Confianza

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
M Día 6 - EM Día 5	*	-14,505	5,35
M Día 6 - ESM Día 22	*	-25,39	5,372
M Día 6 - Descortezado	*	-19,09	4,9218
EM Día 5 - ESM Día 22	*	-10,885	4,321
EM Día 5 - Descortezado	*	-4,5855	3,7466
ESM Día 22 - Descortezado	*	6,2996	3,778

* Indica diferencias estadísticas significativas