

Estudio del efecto de encolado de fibra de abacá en el mejoramiento de su capacidad de tisaje

Patricia Pontón, Omar Bonilla

Centro Textil Politécnico

Departamento de Ingeniería Química

omar.bonilla@epn.edu.ec

Resumen

Se estudió el efecto de encolado de fibra de abacá para mejorar su capacidad de tisaje y así obtener un tejido que utilice a la fibra en los sentidos de urdimbre y trama. Se seleccionó la variedad *Tangongón Rojo*, como la fibra de abacá que presentó mayor aptitud para su tisaje. Además, se determinó un método para cuantificar la resistencia a la abrasión de esta fibra, con base en el funcionamiento del equipo Zweigle G552, que usualmente se emplea para medir la resistencia a la abrasión de hilos. Posteriormente, se estableció un proceso adecuado para el encolado de fibra de abacá y sus condiciones óptimas a escala de laboratorio. Se utilizaron tres agentes encolantes en diferentes concentraciones: el polivinil alcohol de baja y alta viscosidad, y el almidón de maíz. Para determinar las condiciones óptimas del proceso de encolado, se evaluaron los cambios en las propiedades mecánicas de la fibra encolada respecto a la fibra sin encolar, tales como: variaciones en tenacidad, elongación a la ruptura y resistencia a la abrasión. También se determinó la cantidad de agente encolante agregada a la fibra para cada tratamiento de encolado.

Las condiciones óptimas del proceso de encolado de fibra de abacá se obtuvieron para el polivinil alcohol de alta viscosidad en una concentración del 3 % en peso. En estas condiciones la fibra mantuvo su tenacidad, elongación a la ruptura y presentó un aumento del 45,5 % de la resistencia a la abrasión. La fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas mejoró su capacidad de tisaje, puesto que conservó su facilidad de anudado, no experimentó rupturas de urdimbre y con este proceso se eliminó por completo el problema de pilosidad de la fibra sin tratar.

Palabras claves: Fibra de abacá, capacidad de tisaje, encolado, tenacidad, elongación a la ruptura, resistencia a la abrasión.

Abstract

The sizing effect of abaca fiber was studied to improve its weavability and thus, to obtain a weave that employ a fiber in warp and weft directions. It was chosen the Red Tangongon variety as the abaca fiber that showed the best ability for being woven. Furthermore, it was determined a method to quantify the abrasion resistance of this fiber, that was based in the operation of Zweigle G552, an equipment usually used to measure the abrasion resistance of yarns. Afterwards, it was established an appropriate sizing process for abaca fiber and its optimum conditions at laboratory scale. Three sizing agents were used in different concentrations: polyvinyl alcohol of low and high viscosity and corn starch. In order to determinate the optimum conditions of the sizing process, the changes on mechanical properties of sized fiber with regard to unsized fiber were evaluated, such as: variations in tenacity, elongation at break and abrasion resistance. Moreover, the amount of sizing agent added to the fiber was quantified for each sizing treatment.

The optimum conditions of the abaca sizing process were obtained for the polyvinyl alcohol of high viscosity in a weight concentration of 3 %. Under these conditions the fiber maintained its tenacity, elongation at break, and showed an increase of 45,5 % of the abrasion resistance. The abaca fiber that was sized at the optimum conditions improved its weavability, due to the fact that it preserved its ability for making knots, also it didn't experiment warp breaks and with this process, the hairiness problem of the untreated fiber was completely eliminated.

Keywords: Abaca fiber, weavability, sizing, tenacity, elongation at break, abrasion resistance.

1 Introducción

El uso textil de la fibra de abacá es restringido, ya que la fibra es áspera, dura y llena de impurezas, lo cual dificulta su hilado y su utilización tanto en trabajos artesanales como en la elaboración de tejidos. Por ende, los

usos convencionales de la fibra están restringidos a aplicaciones en las que se aprovechan su resistencia mecánica y/o química [5], [9].

Por otra parte, no se ha empleado a la fibra de abacá en su estado natural para su tisaje en los sentidos urdim-

bre y trama, debido a los problemas que exhibe cuando es tejida en crudo, entre los que destacan su pilosidad y las rupturas de las fibras de urdimbre al ser expuestas a los elementos abrasivos del telar. La pilosidad es una consecuencia directa del método de extracción de la fibra. En el desfibrado, al momento que el tuxie pasa por la cuchilla raspadora para eliminar el material no fibroso, el efecto abrasivo de ésta ocasiona que se desprendan fibrillas a lo largo de la fibra.

Para contrarrestar los problemas que presenta la fibra de abacá cuando es tejida en crudo, se propone someterla al proceso de encolado que es realizado por la industria textil a los hilos de urdimbre, previo al tisaje de los mismos. Los principales propósitos del proceso de encolado son: proteger al hilo de la abrasión hilo a hilo y de la abrasión hilo-telar; incrementar la fuerza tensil de los hilos, de tal manera que sean capaces de soportar la tortuosa trayectoria que deben seguir a través del telar y reducir la pilosidad de los hilos, para disminuir su tendencia a enredarse con los hilos de urdimbre adyacentes [1], [12].

Es por ello que mediante el proceso de encolado, este trabajo de investigación pretende mejorar la capacidad de tisaje de la fibra de abacá, para proveer a la fibra de un revestimiento físico que incremente su carga a la ruptura y resistencia a la abrasión durante su tisaje, a la vez que reduzca su pilosidad; revestimiento que puede ser retirado fácilmente después de elaborarse el tejido, con lo cual es posible producir un tejido de abacá al 100 %. Los tejidos con fibra cruda de abacá que son elaborados por el sector artesanal son rústicos y poco compactos. Con esta investigación se busca obtener tejidos, cuyos ligamentos sean firmes y bien definidos; además, se procura utilizar al máximo la longitud de la fibra para fabricar géneros con un largo mínimo de 1,5 m.

De esta manera, se contribuiría al desarrollo económico de los productores ecuatorianos de abacá, puesto que la fibra no se exportaría únicamente en bruto como materia prima y a precios dependientes del mercado externo, por el contrario, se generaría la posibilidad de elaborar trabajos artesanales que podrían ser comercializados a precios más rentables.

Con este estudio también se proyecta aportar para futuras investigaciones en el campo de materiales compuestos, reforzados con tejidos de abacá, en los cuales la orientación longitudinal y transversal de las fibras, podría mejorar las propiedades mecánicas de estos materiales, para dar una nueva utilización a la fibra, considerando que este campo de estudio toma cada vez mayor importancia a nivel mundial, especialmente en la industria automovilística [8].

2 Materiales y métodos

2.1 Materiales

Para el encolado de fibra de abacá se utilizaron dos tipos de polivinil alcohol: el PVA-205-Baja viscosidad (PVA

BV) y el PVA-Alta viscosidad (PVA AV), suministrados por la empresa Pintex y el Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros (CIAP) de la EPN, respectivamente. También se usó almidón de maíz, donado por la empresa Pintex, entidad que además contribuyó con el suavizante textil Suavitex (cebo refinado, parafina, ácido esteárico, emulsificantes, antiespumantes y formol).

2.2 Métodos

2.2.1 Selección de la variedad de fibra de abacá con mayor aptitud para su tisaje

La fibra de abacá de las variedades Bungalanón y Tangongón Rojo, grado de calidad 3, después de pasar por un muestreo selectivo, fue tejida en un telar manual de madera para determinar su capacidad de tisaje. En esta etapa fue necesario humedecer la fibra con un rociador para disminuir el efecto de abrasión del telar. Para el tisaje de cada variedad, se colocaron 80 fibras de urdimbre de 2 m de longitud, las cuales fueron tejidas mediante el ligamento tafetán. El ancho de los tejidos fue de 11 cm y el largo de 50 cm.

Se consideraron como criterios de evaluación de la capacidad de tisaje a: la facilidad de anudado de la fibra, su pilosidad y el número de rupturas de las fibras de urdimbre.

Para determinar la facilidad de anudado, dos fibras fueron atadas en sus extremos por medio del nudo del tejedor. Se observó si las fibras se quebraban y si el nudo se rompía fácilmente al estirar los extremos libres de las fibras. El mismo procedimiento se realizó con ocho fibras adicionales, para apreciar el comportamiento de cinco pares de fibras de cada variedad.

La evaluación de la pilosidad se efectuó durante el tisaje. Se examinó visualmente el desprendimiento de fibrillas mayores a 3 mm y si éstas se separaron por completo de las fibras [3].

Para la evaluación del número de rupturas de la urdimbre, se observó cuántas de las 80 fibras que se colocaron en el telar se rompieron, producto de la acción de los elementos abrasivos del telar.

2.2.2 Determinación del método para medir la resistencia a la abrasión de la fibra de abacá

Este método se determinó con base en el funcionamiento del equipo Zweigle G552 Yarn Abrasion Tester, utilizado a escala de laboratorio para medir la resistencia a la abrasión de hilos encolados [10], [11].

Las características de este equipo permitieron realizar el diseño y construcción de un medidor manual para cuantificar la resistencia a la abrasión de la fibra de abacá.

Para establecer las condiciones de operación del medidor manual de abrasión para la fibra de abacá, se definieron los siguientes factores:

- La posición de las fibras con respecto al rodillo de abrasión.

- La velocidad de rotación del rodillo de abrasión.
- El número de grano del elemento abrasivo.
- El peso de pre-tensión de las fibras.
- Un accesorio para eliminar el residuo de fibra adherido al rodillo durante el ensayo.

Estos factores se especificaron mediante ensayos preliminares con la fibra en el medidor construido.

La posición de las fibras con respecto al rodillo de abrasión se determinó a través de observaciones de la forma en que las fibras fueron desgastadas al ser colocadas sobre o debajo del rodillo abrasivo. La velocidad de rotación del rodillo se definió en 60 ciclos/min, valor similar al de la velocidad que se usa en los ensayos de solidez del color al frote (AATCC8-1996) y de resistencia a la abrasión de tejidos (ASTM D 3884-92).

Luego de establecidos los factores anteriores, se seleccionó como elemento abrasivo a la lija de agua marca FANDELI A-99, de carburo de silicio y se ensayaron los números de grano: 360, 400 y 500. Para la elección del número de grano de la lija, se observó que ésta desgastara a la fibra con un número de ciclos que permitiera apreciar el efecto de abrasión y que a la vez no se deteriorara con pocos ciclos, como consecuencia del residuo de fibra desprendido. El peso de pre-tensión fijado fue de 80 g, el mismo que aseguró que las fibras permanecieran tensionadas, sin que se deslizaran de sus respectivas ranuras durante la prueba. Se ensayaron 30 fibras de título similar, 10 de ellas para cada número de grano.

Para eliminar los residuos de fibra que se incorporaron a la lija, se utilizó como accesorio un cepillo de plástico colocado en la parte superior del rodillo, que permaneció en esa posición hasta la finalización de la prueba.

Para realizar la prueba preliminar de funcionamiento del medidor manual de abrasión construido, se emplearon hilos de algodón mercerizado marca DMC, color 0517 Azul. Veinte hilos de 0,60 m de longitud fueron pesados en una balanza electrónica de apreciación 0,0001 g g y se determinó su título. Posteriormente, los hilos fueron ubicados en el medidor en la posición que se indica en el literal ??, pre-tensionados con un peso de 80 g y sometidos a la acción del rodillo de abrasión a una velocidad de aproximadamente 60 ciclos/min. Se contó el número de ciclos necesarios para la ruptura de cada hilo. La resistencia a la abrasión se cuantificó mediante la relación entre el número de ciclos de abrasión para la ruptura del hilo y su título.

2.2.3 Determinación del proceso adecuado para el encolado de fibra de abacá

Se empleó como engomadora al equipo de impregnación Foulard Ernst Benz LEV 5007 2R, al cual se adaptó una caja de encolado de vidrio pirex, con tres varillas de vidrio fijas: una de inmersión y dos varillas guidoras. Estas últimas se diseñaron con ranuras que tuvieron una separación de 1 cm entre ellas. Como equipo de secado se usó la rama secadora Ernst Benz KE/M500.

A diferencia del proceso de encolado textil industrial en el que se usan varillas separadoras, en el encolado de fibra de abacá no se las utilizó, ya que las fibras se alimentaron a la caja de encolado con una distancia de 1 cm entre ellas, espaciamiento que fue mantenido durante todo el proceso. Los principales factores que influyen en el proceso de encolado son [7]:

- Agente encolante y su concentración
- Temperatura de la solución encolante
- Número de fibras alimentadas a la caja de encolado
- Velocidad de encolado
- Presión de exprimido
- Temperatura y velocidad de secado
- Concentración de aditivos

El agente encolante y su concentración se definieron como variables, mientras que los factores restantes se puntualizaron como parámetros.

Para fijar la temperatura de la solución encolante se seleccionó la temperatura mínima que permitió la disolución total aparente, sin la formación de grumos, tanto de los encolantes como del suavizante textil.

Las fibras se alimentaron en grupos de 10. La separación entre ellas fue de 1 cm y estuvo dada por el diseño de la caja de encolado. La velocidad de encolado se seleccionó con ayuda de información bibliográfica [11].

Se eligió una presión de exprimido que no provocara cambios en la sección transversal de la fibra.

Se realizaron pruebas preliminares para establecer la temperatura de secado. La velocidad de secado de la rama secadora fue constante e igual a 1 m/min. Se ensayaron tres temperaturas: 70, 80 y 90 °C. Se determinó el porcentaje de humedad de las fibras para las tres temperaturas señaladas, porque esta propiedad permite seleccionar la temperatura óptima de secado. El porcentaje de humedad de las fibras se estipuló con la norma TAPPI-T-412.

Como aditivo de encolado se usó al suavizante textil Suavitex, en una concentración del 2% con respecto al peso de encolante adicionado, valor recomendado por la empresa Pintex.

La caracterización química de los agentes encolantes sintéticos se realizó midiendo el grado de hidrólisis de los encolantes sintéticos, mediante Espectroscopia Infrarroja en el FTIR Perkin Elmer modelo Spectrum-One, mientras que su peso molecular viscosimétrico se determinó con el viscosímetro de Cannon-Fenske.

Se definieron concentraciones de 1, 2, 3, 4, 6 y 9% en peso de encolante para el caso del PVA BV y del almidón de maíz. Para el PVA AV se utilizaron concentraciones del 1, 2, 3 y 4%. Concentraciones superiores a las definidas, condujeron a la obtención de soluciones altamente viscosas y poco manipulables.

2.2.4 Evaluación de las propiedades mecánicas de la fibra encolada y sin encolar

La carga y porcentaje de elongación a la ruptura se evaluaron con la norma ASTM D 3822-96, en la máquina de Ensayos Universales Lloyd J100S. Se ensayaron 40 fibras para cada tratamiento, a las que previamente se determinó su título. La velocidad de separación entre mordazas fue de 5 mm/min y su distancia de 25 cm. La tenacidad se definió como la relación entre la carga a la ruptura de la fibra y su título. La resistencia a la abrasión se determinó en el medidor construido y se ensayaron 40 fibras para cada tratamiento.

2.2.5 Determinación del porcentaje Size Add-On para cada tratamiento de encolado

Para determinar este porcentaje se desencoló la fibra, con referencia en la norma AATCC 97-1995. Se pesaron 2 g de fibra encolada cortada en segmentos de 3 cm, en una balanza de apreciación 0,0001 g y se secaron en una estufa a 105 °C por 12 horas. Luego se pesó la muestra encolada seca y se la colocó en el Launder-O-meter Atlas con 200 ml de agua destilada, a 80 °C por 2 horas. Se lavó la muestra desencolada con 100 ml de agua destilada y se la secó en la estufa a 105 °C por 12 horas. Se pesó la muestra desencolada seca.

2.2.6 Evaluación de la capacidad de tisaje de la fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas

Se consideraron los mismos criterios de evaluación de la capacidad de tisaje utilizados en el caso de la fibra sin encolar.

2.2.7 Determinación de la resistencia a la abrasión del tejido con fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas y del tejido con fibra de abacá sin encolar

Se empleó el medidor Taber 5130 Abraser, según la norma ASTM D 3884-92. Se utilizó la rueda abrasiva Taber H-18, con un peso total de 250 g por rueda. Para esta prueba, la fibra de abacá fue tejida con el ligamento tafetán.

Se sometió al tejido elaborado con fibra de abacá sin encolar a la acción abrasiva del equipo Taber y se establecieron los ciclos necesarios para la aparición de la primera ruptura del tejido. Este número de ciclos sirvió de base para realizar el ensayo. Se pesó al tejido con fibra de abacá no encolada en una balanza de apreciación 0,0001 g, y luego se lo ubicó en el medidor Taber. El tejido fue sometido a 50 ciclos de abrasión y después se obtuvo su peso. El mismo procedimiento se aplicó al tejido con fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas. Se determinó la pérdida de peso de los tejidos como una medida de su resistencia a la abrasión.

3 Resultados y discusión

3.1 Selección de la variedad de fibra de abacá con mayor aptitud para su tisaje

La variedad de fibra de abacá que exhibió mayor aptitud para su tisaje fue la Tangongón Rojo. En la Tabla 1 se indican los resultados de las pruebas de la capacidad de tisaje.

Tabla 1. Resultados de las pruebas de la capacidad de tisaje de las variedades ensayadas de fibra de abacá.

Propiedades evaluadas	Variedad de fibra de abacá	
	Bungalanón	Tangongón Rojo
Facilidad de anudado	Baja	Excelente
Pilosidad	Considerable	Considerable
Rupturas de urdimbre*	11	5

*Urdimbre de 80 fibras

En cuanto a la facilidad de anudado, la variedad Tangongón Rojo no fue quebradiza al entrelazarse con el nudo del tejedor y éste resistió aceptablemente las fuerzas de estiramiento manual. Lo contrario sucedió con la variedad Bungalanón; pequeñas fibrillas sobresalieron alrededor del nudo, producto de la fractura de las fibras al ser dobladas y la resistencia del nudo a las tensiones manuales fue inferior. Por otra parte, las dos variedades mostraron una pilosidad considerable, sin diferenciación entre ellas. La variedad Tangongón experimentó menos rupturas de urdimbre que la Bungalanón y éstas ocurrieron con mayor frecuencia en los extremos de la urdimbre, debido al efecto abrasivo del doblez de la trama al regreso de la lanzadera y también acontecieron en secciones de la fibra con mayor pilosidad, porque las fibrillas sobresalientes fueron retiradas paulatinamente, debido al efecto abrasivo..

3.2 Determinación del método para medir la resistencia a la abrasión de la fibra de abacá

3.2.1 Establecimiento de las condiciones de operación del medidor manual de abrasión para la fibra de abacá

En el equipo Zweigle G552, los hilos se ubican sobre el rodillo de abrasión. No obstante, en el medidor construido cuando las fibras se colocaron en dicha posición fueron desgastadas levemente. Por ello, se situaron por debajo del rodillo y así el efecto de abrasión se advirtió de forma más tangible. Los resultados del número de ciclos de abrasión a la ruptura de la fibra para los tamaños de grano ensayados, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Ciclos de abrasión a la ruptura de la fibra de abacá para distintos tamaños de grano.

	No. De Grano*		
	360	400	500
Título (Tex)	73,6	73,7	73,9
Desv. Estánd. Título	1,4	1,3	1,2
Promedio de ciclos de abrasión	15,8	33,4	72,9
Desv. Est. Ciclos de abrasión	3,1	4,2	6,7

* Elemento abrasivo: lija FANDELI A-99

Se seleccionó como tamaño de grano óptimo al No.400, ya que permitió obtener una cantidad de ciclos de abrasión apreciable, sin que ocurriera un desgaste significativo de la lija. El grano 360, ocasionó que la fibra fallara con pocos ciclos, en contraste con lo acontecido con el grano 500, que además presentó un desgaste considerable durante la prueba.

3.2.2 Prueba preliminar de funcionamiento del medidor manual de abrasión construido

Esta prueba confirmó que los resultados del ensayo diseñado fueron repetitivos, porque para un conjunto de 20 hilos del mismo título, el número de ciclos de abrasión fue estadísticamente constante y presentó un coeficiente de variación del 3,6 %, como se indica en la Tabla 3.

La resistencia a la abrasión en los términos definidos en esta investigación, mostró un coeficiente de variación del 4,3 % para los hilos de algodón. En el caso de la fibra de abacá, los coeficientes de variación estuvieron entre el 11,4 y 33,8 %, que se justifican, al ser el abacá una fibra natural, cuya sección transversal no es constante a lo largo de su longitud, a más de tener defectos de tipo superficial; problemas que no se presentan frecuentemente en los hilos elaborados industrialmente.

Tabla 3. Resistencia a la abrasión de hilos de algodón marca DMC de color 0517 Azul.

	Título (Tex)	Ciclos de abrasión	Resistencia a la abrasión (ciclos/103Tex)
Media	130,69	11,1	84,6
Desv. Estánd.	2,68	0,4	3,7
CV (%)	2,05	3,6	4,3

3.3 Determinación del proceso adecuado para el encolado de fibra de abacá

3.3.1 Definición de los parámetros para el proceso de encolado

Se fijó 80 °C como la temperatura de la solución encolante, ya que permitió la disolución total aparente de los

agentes encolantes y del suavizante, sin la formación de grumos, en agua destilada durante 1 hora y con agitación constante, para concentraciones inferiores al 10 % en peso de encolante. Temperaturas menores a 80 °C dieron lugar a suspensiones, mientras que temperaturas superiores favorecieron la formación de espuma.

La velocidad de encolado sugerida en bibliografía es de 1,67 m/min. [11]. Sin embargo, el Foulard no permitió seleccionar este valor, por lo cual, se empleó una velocidad de 1 m/min, con la finalidad de asegurar que las fibras estuvieran en la caja de encolado el tiempo suficiente para su apropiada interacción con el licor encolante.

Se fijó como presión de exprimido 21,3 psi (1,5 kgf/cm²), ya que este valor fue el único que permitió el paso de la fibra por los rodillos de exprimido del Foulard sin que su sección transversal fuese aplanada.

En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de humedad de las fibras de abacá a la salida de la rama secadora en función de la temperatura de secado.

Tabla 4. Porcentaje de humedad de las fibras de abacá a la salida de la rama secadora en función de la temperatura de secado.

Temperatura de secado (°C)	Humedad (%)
70	9,2
80	7,0
90	4,6
Velocidad de secado: 1 m/min	

Se seleccionó 80 °C como la temperatura de secado óptima, porque la humedad de las fibras a la salida de la rama secadora fue del 7 %, valor que está dentro del rango de humedad citado en bibliografía para los hilos de urdimbre luego de la etapa de secado, que es del 5 al 8 % [7]. A 70 y 90 °C, las fibras registraron un porcentaje de humedad fuera del intervalo señalado. A 90 °C, las fibras resultaron quebradizas al ser manipuladas y retiradas del equipo.

Tabla 5. Resultados de los parámetros del proceso de encolado de la fibra de abacá.

Parámetros	Valores
Temperatura de la solución encolante	80 °C
Número de fibras alimentadas	10 fibras con una separación de 1 cmcm
Velocidad de encolado	1 m/min
Presión de exprimido	21,3 psi
Temperatura de secado	80 °C
Velocidad de secado	1 m/min
Concentración del suavizante Suavitex	2% con respecto al peso del encolante

En la Tabla 5 se resumen los resultados de los parámetros considerados para el proceso de encolado de la fibra de abacá.

3.3.2 Caracterización química de los agentes encolantes sintéticos

El grado de hidrólisis del PVA BV fue aproximadamente 88 %, porque en el espectro de infrarrojo, la banda asociada con el grupo acetato apareció en $1734,40\text{ cm}^{-1}$, con una intensidad similar a la del estándar de PVA parcialmente hidrolizado. El PVA AV mostró dicha banda en $1733,06\text{ cm}^{-1}$, pero su intensidad estuvo entre la de los estándares parcial y completamente hidrolizado. Por ende, el grado de hidrólisis del PVA AV estuvo entre 88 y 100 %, lo cual indica que el PVA AV exhibió un menor número de grupos acetato.

El peso molecular viscosimétrico del PVA VB fue 6 492,2, mientras que del PVA AV de 27 183,5, valor 4,2 veces superior al del PVA BV. “La viscosidad de una disolución es básicamente la medida del tamaño o extensión en el espacio de las moléculas de un polímero” [4]. Por lo tanto, la mayor viscosidad observada experimentalmente en las disoluciones de PVA AV confirmó su mayor tamaño molecular.

3.4 Evaluación de las propiedades mecánicas de la fibra encolada y sin encolar

El análisis comparativo de las propiedades mecánicas, se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el procedimiento estadístico de Fisher de las diferencias menos significativas (LSD), con un nivel de confianza del 99 % [2].

La fibra de abacá es lignocelulósica. En la variedad Tangongón el contenido de celulosa es del 68,58 % y el de lignina del 9,93 % [6]. En el análisis de propiedades mecánicas se consideró principalmente la interacción que existiría entre los encolantes y la celulosa de la fibra, pero no la interacción con la lignina, porque la fuerza de los enlaces puente hidrógeno de los encolantes con los hidroxilos de la lignina estaría minimizada por los voluminosos grupos aromáticos que conforman su estructura. Además, como la celulosa está en mayor porcentaje, la interacción del encolante con la fibra estaría dada básicamente por su aporte.

3.4.1 Tenacidad

En las Figuras 1, 2 y 3 se presentan los resultados de tenacidad de las fibras encoladas con PVA BV, PVA AV y almidón de maíz.

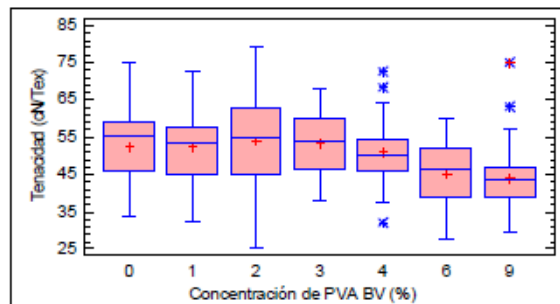


Figura 1. Tenacidad de la fibra de abacá encolada con PVA BV.

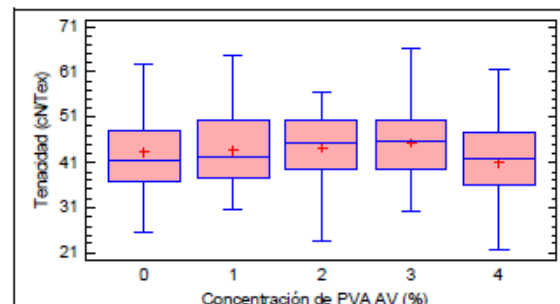


Figura 2. Tenacidad de la fibra de abacá encolada con PVA AV.

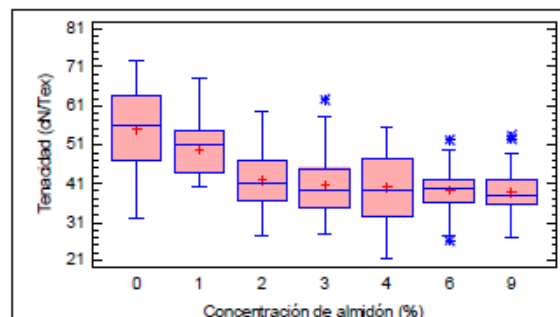


Figura 3. Tenacidad de la fibra de abacá encolada con almidón de maíz.

Las fibras luego de ser encoladas incrementan su título, por la incorporación del encolante. Puesto que la tenacidad de la fibra encolada con PVA BV en concentraciones del 1 al 4 % fue estadísticamente igual a la de la fibra sin tratar, la carga a la ruptura de la fibra después de ser encolada debió incrementarse para compensar el aumento del título. Los enlaces puente hidrógeno entre el encolante y la fibra reforzarían la unión de las fibrillas de celulosa. Sin embargo, para el 6 y 9 % de PVA BV, la tenacidad disminuyó entre el 14,3 y 16,6 %, porque probablemente la fibra se saturaría y se tornaría rígida. Así, cuando una carga es aplicada, ésta no se distribuiría uniformemente y la fibra fallaría a cargas más bajas.

La tenacidad de la fibra encolada con PVA AV en concentraciones entre el 1 y 4 %, fue estadísticamente igual a la de la fibra sin tratar. El análisis matemático señaló que para una misma concentración, hasta del 4 %, la carga a la ruptura de la fibra después de ser encolada con

PVA AV fue mayor que la que exhibió cuando fue tratada con PVA BV. Esto podría atribuirse principalmente al mayor peso molecular del PVA AV, que favorecería el aumento de la intensidad de las fuerzas intermoleculares encolante-celulosa. Por otra parte, un menor número de grupos acetato en el PVA AV favorecería sus interacciones intermoleculares con la celulosa de la fibra.

La tenacidad de la fibra encolada con almidón de maíz disminuyó para todos los ensayos realizados. Para el 1%, la tenacidad decreció en un 9,1% y para concentraciones entre el 2 y 9%, descendió entre el 23,9 y 29,2%. Una deficiente difusión podría ser responsable de la aglomeración de encolante en algunas zonas de la fibra, mientras que en otras, es posible que ésta quedara desprotegida. La concentración de esfuerzos en las zonas desprotegidas y la desigual distribución de la carga en las partes densamente encoladas, provocarían que los enlaces adhesivos se fracturasen con cargas más bajas. Los problemas de difusión serían más evidentes para concentraciones altas de almidón. Se esperaría que la fibra se saturase como en el caso del PVA BV y que la tenacidad disminuyera de manera drástica. Sin embargo, la ineficiente difusión del almidón dificultaría su penetración hacia la parte interior accesible de la fibra, por lo cual no se advirtió el efecto de saturación.

3.4.2 Porcentaje de elongación a la ruptura

En las Figuras 4, 5 y 6 se indican los resultados del porcentaje de elongación a la ruptura de las fibras encoladas con PVA BV, PVA AV y almidón de maíz.

No existió una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje de elongación a la ruptura de la fibra sin encolar y el de la fibra encolada con PVA BV en concentraciones del 1 al 4%. Los enlaces adhesivos entre el encolante y las fibrillas de celulosa, no interferirían en la aptitud de la fibra para elongarse. El recubrimiento al parecer sería superficial, por lo tanto no se modificaría la estructura interna de fibra. No obstante, concentraciones del 6 y 9% redujeron el porcentaje de elongación a la ruptura en aproximadamente el 27,6%. La probable rigidez de la fibra encolada a estas concentraciones ocasionaría que ésta fuera poco elástica, lo que se refleja en el descenso de su porcentaje de elongación a la ruptura.

Tampoco hubo una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje de elongación a la ruptura de la fibra encolada con PVA AV y el de la fibra sin encolar. A pesar de la reforzada unión que el encolante produciría en las fibrillas de celulosa, su capacidad de elongarse contribuiría a conservar la elongación de la fibra.

El porcentaje de elongación a la ruptura de la fibra encolada con almidón de maíz, fue estadísticamente igual al de la fibra sin tratar, para todas las concentraciones. Debido a su naturaleza, la fibra de abacá se elonga poco y si se considera la baja adhesión del almidón a la fibra, como resultado de sus problemas de difusión, se justifica que la elongación a la ruptura se mantuviera, aún cuando la tenacidad disminuyó en todos los tratamientos.

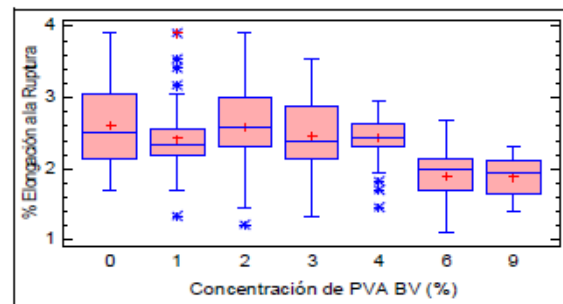


Figura 4. % Elongación a la ruptura de la fibra de abacá encolada con PVA BV.

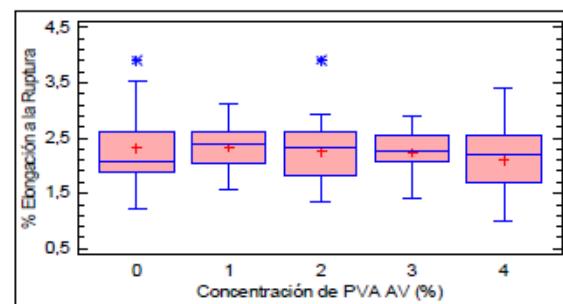


Figura 5. % Elongación a la ruptura de la fibra de abacá encolada con PVA AV.

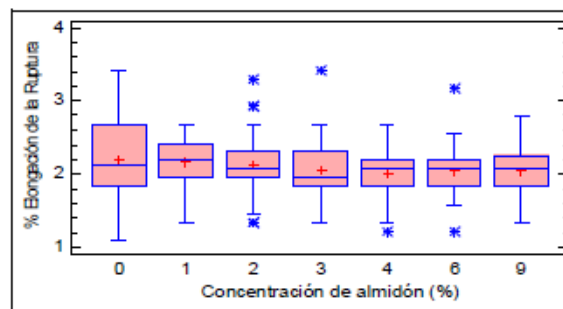


Figura 6. % Elongación a la ruptura de la fibra de abacá encolada con almidón de maíz.

3.4.3 Resistencia a la abrasión

En las Figuras 7, 8 y 9 se indican los resultados de la resistencia a la abrasión de las fibras encoladas con PVA BV, PVA AV y almidón de maíz.

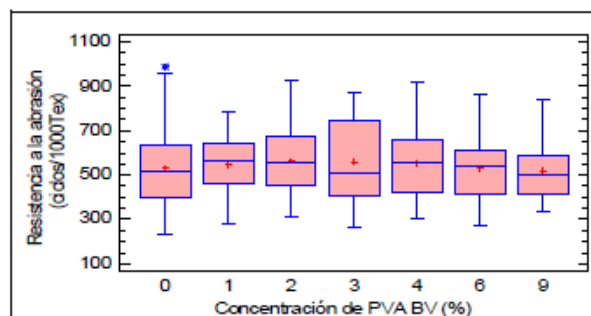


Figura 7. Resistencia a la abrasión de la fibra de abacá encolada con PVA BV.

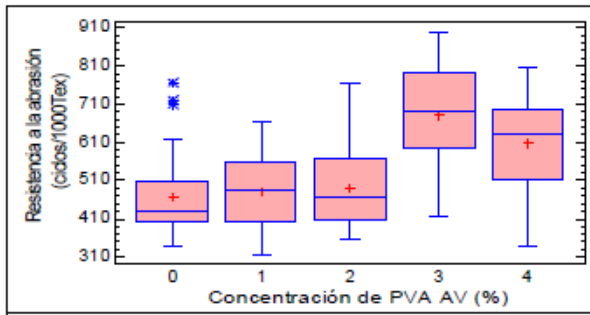


Figura 8. Resistencia a la abrasión de la fibra de abacá encolada con PVA AV.

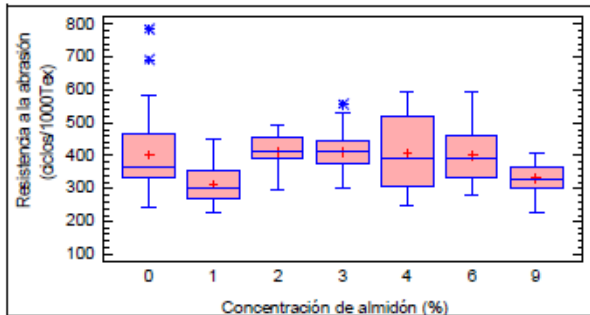


Figura 9. Resistencia a la abrasión de la fibra de abacá encolada con almidón de maíz.

No existió una diferencia estadísticamente apreciable entre la resistencia a la abrasión de la fibra encolada con PVA BV y la de la fibra sin encolar. Para que esta propiedad se mantuviera constante, el número de ciclos de abrasión para la ruptura debió incrementarse después que la fibra fue encolada para equipar el aumento de su título. Los enlaces puente hidrógeno, ayudarían a mantener al encolante en la superficie de la fibra, aún cuando el elemento abrasivo intentó desprenderlo de ella.

Concentraciones del 1 y 2 % de PVA AV no produjeron un efecto perceptible en la resistencia a la abrasión de la fibra. Sin embargo, al 3 y 4 % de PVA AV se incrementó esta propiedad en un 45,5 y 29,7 %, respectivamente. El PVA AV es propenso a formar enlaces puente hidrógeno más fuertes de los que formaría el PVA BV con las fibrillas de celulosa, lo cual explicaría que la fibra soportara un mayor número de ciclos de abrasión a la ruptura luego de ser encolada con PVA AV. Una concentración del 3 % resultaría óptima. Al 4 %, el aumento en la resistencia a la abrasión fue menor que al 3 %, ya que el encolante penetraría en mayor cantidad en la fibra y el espesor de película disminuiría.

Concentraciones de almidón del 1 y 9 % disminuyeron la resistencia a la abrasión de la fibra en un 22,6 y 12,8 %, respectivamente. Concentraciones entre el 2 y 6 % no afectaron esta propiedad mecánica. Al 1 %, la cantidad de almidón sería insuficiente para rellenar todos los lugares disponibles de la superficie de la fibra y se formaría un film rugoso que actuaría como otra superficie abrasiva. A medida que se incrementó la cantidad de almidón, existieron más moléculas para recubrir un mayor

número de espacios superficiales accesibles y se presume que la fibra quedaría revestida por un film con un espesor de película más homogéneo. Al 9 % existiría una excesiva cantidad de encolante y el film se comportaría como otra superficie rugosa que beneficiaría el desgaste de la fibra. Por ello hubo un descenso en la resistencia a la abrasión, que fue menos drástico que al 1 %, porque el elemento abrasivo debió retirar una mayor cantidad de encolante antes de la ruptura de la fibra.

3.5 Determinación del porcentaje Size Add-On para cada tratamiento de encolado

En la Figura 10 se indica el porcentaje Size Add-On en función de la concentración del agente encolante.

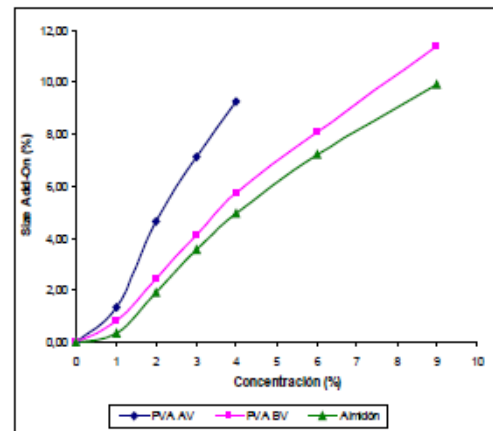


Figura 10. % Size Add-On vs. Concentración de encolante.

Para una misma concentración de encolante, el porcentaje Size Add-On fue superior para el PVA AV, al cual le siguieron el PVA BV y finalmente el almidón de maíz. Los resultados de tenacidad y resistencia a la abrasión manifestaron que debido a su estructura molecular, el PVA AV tendía a formar enlaces adhesivos más fuertes con las fibrillas de celulosa que el PVA BV y que el almidón de maíz, razón por la cual el PVA AV fue más difícil de remover por los rodillos de exprimido del Foulard y se retuvo en mayor cantidad a la fibra.

3.6 Evaluación de la capacidad de tisaje de la fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas

Se definieron como condiciones óptimas de encolado de fibra de abacá al PVA AV en una concentración del 3 %, ya que en estas condiciones se conservaron la tenacidad, porcentaje de elongación a la ruptura y sobretodo, se incrementó la resistencia a la abrasión de la fibra en un 45,5 %. La fibra encolada en las condiciones óptimas mejoró su capacidad de tisaje. En cuanto a la facilidad de anudado, el film de PVA AV no obstruyó la capacidad de la fibra de entrelazarse por medio del nudo del tejedor, porque no se produjo su resquebrajamiento, a pesar de

la presencia del encolante. Al aplicar las fuerzas manuales de estiramiento, el nudo se preservó y no se rompió fácilmente. La fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas, no presentó el problema de pilosidad. Durante la operación de tisaje, no se observó el desprendimiento de fibrillas. En lo concerniente al número de rupturas de urdimbre, de las 80 fibras ensayadas no se produjo la ruptura de ninguna de ellas, lo cual refleja que el incremento en la carga a la ruptura de la fibra y en su resistencia a la abrasión, fueron determinantes en el mejoramiento de su capacidad de tisaje.

3.7 Determinación de la resistencia a la abrasión del tejido con fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas y del tejido con fibra de abacá sin encolar

En la Tabla 6 se muestran los resultados del porcentaje de pérdida de peso de los tejidos con fibra de abacá encolada en las condiciones

Tabla 6. Resultados del porcentaje de pérdida de peso de los tejidos elaborados con fibra de abacá.

Tipo de tejido	Pérdida de peso (%)
Tejido plano con fibras no encoladas	1,97
Tejido plano con fibras encoladas en las condiciones óptimas *	1,27

*Condiciones óptimas: PVA AV al 3 %

El tejido con fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas mostró una disminución en el porcentaje de pérdida de peso del 35,5 % respecto al del tejido con fibra de abacá sin encolar, por lo tanto, su resistencia a la abrasión fue superior a la de este último. Los resultados de este ensayo no son comparables en valores absolutos con los del ensayo de resistencia a la abrasión de la fibra, desarrollado en esta investigación. No obstante, se complementan para dar a conocer que la fibra de abacá después de ser encolada en las condiciones óptimas presentó un considerable incremento en su resistencia a la abrasión. Consecuentemente, el ensayo de resistencia a la abrasión de los tejidos permitió verificar la validez del método de resistencia a la abrasión de la fibra desarrollado.

El incremento en la resistencia a la abrasión de los tejidos manufacturados con fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas, sugiere su posible utilización como géneros encolados en la fabricación de tapetes y alfombras, aplicaciones en las que se requiere una alta resistencia a la abrasión de los tejidos.

4 Conclusiones

1. La variedad de fibra de abacá que presentó mayor aptitud para su tisaje fue la Tangongón Rojo. Su facilidad de anudado y su resistencia a las rupturas

de urdimbre, fueron superiores a las de la variedad Bungalanón, aunque las dos variedades exhibieron una pilosidad considerable.

2. El método desarrollado para medir la resistencia a la abrasión de la fibra de abacá fue válido y permitió cuantificar las diferencias de esta propiedad mecánica entre los distintos tratamientos de encolado.
3. La estructura molecular del agente encolante y su concentración, influyeron en las propiedades mecánicas de la fibra de abacá encolada. Para una misma concentración de agente encolante, los mayores incrementos relativos en la carga a la ruptura y ciclos de abrasión a la ruptura, así como los porcentajes Size Add-On más altos, se obtuvieron cuando las fibras fueron encoladas con PVA AV.
4. El almidón de maíz no es recomendable para el encolado de la fibra de abacá. La tenacidad de la fibra disminuyó para todos los tratamientos de encolado y aunque su elongación a la ruptura se conservó, la resistencia a la abrasión no mostró valores superiores a los de los otros encolantes para una misma concentración.
5. El PVA BV en concentraciones del 1 al 4 %, mantuvo la tenacidad, elongación a la ruptura y resistencia a la abrasión de la fibra. Sin embargo, concentraciones del 6 y 9 % de este encolante no son recomendables para el encolado de fibra de abacá; éstas provocaron un descenso en la tenacidad y en la elongación a la ruptura de la fibra.
6. El PVA AV es el encolante más aconsejable para el encolado de fibra de abacá. En concentraciones del 1 al 4 %, conservó la tenacidad y porcentaje de elongación a la ruptura de la fibra. Para el 3 y 4 % de PVA AV, se produjo un incremento en la resistencia a la abrasión de la fibra.
7. Las condiciones óptimas del proceso de encolado de fibra de abacá, definidas bajo los parámetros establecidos, se obtuvieron para el PVA AV en una concentración del 3 %. En estas condiciones, la fibra presentó el mayor incremento en la resistencia a la abrasión de todos los ensayos realizados, correspondiente al 45,5 %.
8. La fibra de abacá encolada en las condiciones óptimas mejoró su capacidad de tisaje respecto a la de la fibra sin encolar. Mantuvo su facilidad de anudado, no se produjo ruptura alguna de las fibras de urdimbre y se eliminó por completo el problema de pilosidad de la fibra sin tratar.

Agradecimientos

Los autores de este artículo dejan constancia de su agradecimiento a la Ing. Hilda Trujillo por su asesoría en el área de tejeduría.

Referencias

- [1] Adanur, S., 1995, *Wellington Sears, Handbook of Industrial Textiles*, <http://books.google.com/> (Septiembre, 2008).
- [2] Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., 1999, *Estadística para Administración y Economía*, 7ma edición, Internacional Thomson Editores, México, pp. 485-487, 491-494, 506-508.
- [3] Balasubramanian, N., 2007, *Hairiness of Yarns*, <http://business.vsnl.com/balasubramanian/hairiness.html> (Septiembre, 2008).
- [4] Billmeyer, F., 1978, *Ciencia de los polímeros*, <http://books.google.com/> (Febrero, 2009).
- [5] Bonilla, O., 2000, *Procesamiento de la Fibra de Abacá para la Elaboración de Tejidos y no Tejidos*, Primer Encuentro Nacional de productores y artesanos de fibras naturales: Memorias Técnicas, http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Memorias_Tecnicas.pdf (Septiembre, 2008).
- [6] Bonilla, O. y Guerrero, V., 2007, *Informe técnico: Desarrollo de nuevas alternativas del uso de abacá en el Ecuador*, EPN, Ecuador.
- [7] Celanese Chemicals, 2002, *Celvol™ Polyvinyl Alcohol for Textile Warp Sizing*, <http://www.chemvip.com/textilewarpsizing.pdf> (Febrero, 2008).
- [8] Fernandez, R., 2007, *Abaca fiber finds use in the manufacture of cars, boats*, <http://www.truthforce.info/> (Octubre, 2008).
- [9] 2005 Guerrón, A., 2005, *Caracterización y Modificación Alcalina de la Fibra de abacá*, Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniera Química, EPN, Quito, Ecuador.
- [10] Hamilton, T., 2001, *Synthesis, characterization, application, and evaluation of Reactive Sizes for Cotton Warps*, <http://www.lib.ncsu.edu/> (Septiembre, 2008).
- [11] Kovačević, S., 2004, *Impact of Sizing on Physico-mechanical Properties of Yarn*, http://www.fibtex.lodz.pl/48_10_32.pdf (Marzo, 2008).
- [12] Maatoug, S., Ladhari, N., Sakli, F., 2007, *Evaluation of the Weavability of Sized Cotton Warps*, http://www.autexrj.com/cms/zalaczone_pliki/2-07-4.pdf (Marzo, 2008).