

Efecto de la Sapamina OC y el Acetato de Sodio más Aceite de Ricino en la Suavidad, Resistencia y Elongación de Hilos de Cabuya

Effect of Sapamine OC and Sodium Acetate with castor oil on Smooth, Resistance and Elongation of Cabuya Threads

Elsa Mora Muñoz¹, Elvis Ramírez Encalada¹, Carmen Trujillo¹, Omar Lara Castro¹,

¹Universidad Técnica del Norte, Ibarra - Ecuador

esmora@utn.edu.ec, erramirez@utn.edu.ec, olara@utn.edu.ec, catrujillo@utn.edu.ec

Recibido: 10 Octubre 2021

Aceptado: 11 Diciembre 2021

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo determinar la influencia de la concentración del suavizante catiónico (Sapamina OC), respecto al suavizante Acetato de Sodio y aceite de Ricino en la resistencia a la tracción y elongación de los hilos de cabuya para que puedan ser utilizados en la confección de géneros textiles. La experimentación se realizó con un diseño experimental, donde el factor de estudio fue la temperatura y concentración del suavizante catiónico y el acetato de sodio ($C_2H_3NaO_2$) y la variable respuesta es la resistencia a la tracción y elongación que se establece mediante el dinamómetro bajo la norma EN ISO 2062:2009. Con 95 % de confianza se determina que existe diferencia significativa entre los niveles de estudio, un análisis de comparación con el programa Stargraphics muestra que el mejor tratamiento es el proceso con el acetato de sodio al 4% de concentración, con la temperatura de 40 °C, en un tiempo de 45 minutos. Este resultado representa un aporte a la tecnología de los procesos de suavizado de los hilos de cabuya ya que incrementa la resistencia a la tracción en 58%.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the influence of the concentration of the cationic softener (Sapamine OC), concerning the softener Sodium Acetate and Castor oil on the tensile strength and elongation of the cabuya threads so that they can be used in the confection genre textiles. The experimentation was carried out with an experimental design, where the study factor was the temperature and concentration of cationic soft tissue and sodium acetate ($C_2H_3NaO_2$) and the response variable is the tensile strength and elongation that is established employing the dynamometer under the EN ISO 2062: 2009 standard. With 95% confidence, it is determined that there is a significant difference between the study levels, a comparison analysis with the Stargraphics program shows that the best treatment is the process with sodium acetate at 4% concentration, with a temperature of 40 °C, in a time of 45 minutes. This result represents a report on the technology of the softening processes of the cabuya yarns since it increases the tensile strength by 58%.

KEYWORDS: Fibra de cabuya, Resistencia a la tracción, Suavizado..

INTRODUCCIÓN

1.1 La cabuya

La cabuya denominada agave o fique, es una fibra vegetal, se cultiva en Ecuador en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Bolívar, es originaria de las regiones andinas de Sudamérica como Ecuador, Colombia y Perú, encontrándola también en el Caribe y en Centroamérica, crece o se cultiva sin complicaciones en valles y laderas (Rojas et al. 2017). La fibra de cabuya se obtiene de las hojas de la planta silvestre *Furcraea Andina*, que es cultivada por los moradores de la sierra, destinando la mayoría de su uso como material de amarre (Paredes Salinas, Pérez Salinas, y Castro Miniguano 2017).

La fibra de cabuya denominada en otros lugares también como agave o fique, es una planta que en Ecuador se cultiva en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Bolívar, donde las características del suelo son generalmente laderas con pocos nutrientes, por lo que es recomendable cultivarla en terrenos entre arenosos y arcillosos ricos en calcio, a los cuales se debe adicionar magnesio, fósforo y potasio para obtener mejores resultados de desarrollo y producción (Betancourt Chávez y Salazar Garces 2017a).

Las plantas del género *Furcraea* engloba cerca de 20 especies de las cuales algunas de estas se utilizan para extraer la fibra, en tanto que la de agave contiene una gran cantidad de pulpa y jugo, por lo que es muy poco utilizada para fines textiles siendo dirigida para la obtención de licor (Jurado y Checa 2014).

Rodríguez Baquerizo et al. (2017) mencionan que de la planta de la cabuya se aprovecha el 4% de la planta como fibra, el 96% es jugo y bagazo.

Las condiciones climáticas óptimas para el cultivo de la fibra de cabuya en el Ecuador

están entre 18 a 24 °C de temperatura, con una altura de 1000 a 2000 ms.n.m. y una humedad relativa entre 50 a 70% (Cali 2019). El proceso inicia con el corte de la fibra cuando su hoja alcanza un metro de longitud, después pasa a la máquina desfibradora para separar la fibra del resto de componentes (Lopez y Torbisco 2020), la planta de cabuya está compuesta por 85% de humedad, 8% de materia orgánica y amorfa en presencia de sacarosa, 6% de celulosa y 1% de minerales como el magnesio y el sodio (Palacios Carvajal, Castillo Campoverde, y Donoso León 2018). Los usos que se dan a la cabuya son: como jabón, leña, forraje, cubiertas de los techos, canales de agua, medicina natural, elaboración de cuerdas, sacos para transporte de alimentos o mercaderías, bolsos, sombreros, artesanías, macramé y crochet (Uribe y Soto 2015) (Masabalín 2019). La fibra de cabuya es poco utilizada en la industria textil en la línea de prendas confeccionadas, debido a que su naturaleza presenta características de dureza, aspereza, durabilidad y resistencia que la han limitado simplemente en la producción de cuerdas, sacos y artesanías (Betancourt Chávez y Salazar Garces 2017b). Otras limitaciones que presenta la cabuya son las bajas propiedades mecánicas y tenacidad, sensibilidad a la radiación ultravioleta, temperatura y a la humedad debido a la presencia de los grupos polares OH que la hacen altamente hidrófila originando cambios en las dimensiones de las fibras que dan como resultado una mala adhesión en su interfaz con una matriz de polímeros orgánicos (Guzmán et al. 2018).

Debido a la mala compatibilidad entre las fibras de la cabuya y la matriz de los polímeros, se ha limitado la aplicación de estos últimos, por lo que se ha optado por la utilización de tratamientos físicos y químicos que mejoren esta afinidad. Los tratamientos físicos, como: tratamientos por explosión de vapor, por plasma y ultravioleta que generan un alto consumo de energía; los tratamientos

químicos son: procedimientos alcalinos, con anhídrido maleico, acoplamiento con silano y agentes provocando todos estos problemas de contaminación ambiental (Zhuo et al. 2020).

Los tratamientos enzimáticos son conjeturados como las posibles opciones de mejora de las propiedades de las fibras naturales, ya que son considerados benignos con el ambiente pudiendo ser reutilizados, necesitan condiciones suaves de funcionamiento, son reciclables y se volverán más económicos en la medida que se investigue y se utilice para las diferentes fibras naturales (George et al. 2016).

Investigaciones de fibras naturales como el bambú manifiesta Zhuo et al. (2020), que este fue modificado por enzimas de pectinas, celulasas y lacasas obteniendo un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas, de absorción de agua y térmicas. De la misma forma las fibras de cáñamo que se trataron con enzimas lacasas obtenían mayor resistencia a la tracción, la mezcla de fibras yute/poliéster mejoró sus propiedades (Zhuo et al. 2020). La fibra de bonote que se extrae de la cáscara del coco demuestran que tiene baja resistencia a la tracción y es hidrofílica por lo que causa adhesión interfacial con la matriz polimérica, al ser sometida a tratamientos con enzimas lactasas, lipasas, pectinasas y celulasas, mejoraron las propiedades mecánicas de flexión, impacto y tracción (Coskun et al. 2019).

El suavizado de las fibras de cabuya es un proceso opcional que pocos productores lo realizan, es un tratamiento posterior que se realiza al género textil que proporciona características físicas como flexibilidad, lisura y un tacto más suave, se debe recalcar que existen métodos naturales con suavizantes como el aloe vera y otros que son sintéticos que utilizan compuestos catiónicos, aniónicos, no iónicos y anfotéricos (Páez 2020).

Los suavizantes tradicionales catiónicos usados en la cabuya le dan la característica de

un tacto aceitoso más no suave por ser un ácido graso en altas concentraciones, los suavizantes aniónicos mejoran el tacto pero no le da cuerpo a la fibra incluso cuando se usa una relación de 3 g/l, manteniendo la temperatura estable durante el proceso (Betancourt Chávez y Salazar Garces 2017b).

Las fibras sintéticas como el poliéster, acrílico y poliamida se emplean en diseños de moda, accesorios para el hogar por su alta resistencia mecánica, producción, precios competentes y por su naturaleza de compuestos poliméricos, no obstante estos no son ecológicos ni biodegradables, se tardan más de 100 años en descomponerse; esto ha servido para que las fibras naturales se destaquen en supremacía sobre las sintéticas por su sostenibilidad con el ambiente gracias a sus características de renovabilidad y biodegradabilidad (Kumar, S. et al, 2021). Los microplásticos se encuentran principalmente en forma de fibra, predominantemente de tereftalato de polietileno (PET) (Zambrano et al. 2021). Las fibras naturales consideradas como tradicionales o convencionales vuelven con más fuerza en este siglo a ubicarse como las preferidas en el campo industrial, muestra de esto es el algodón, aunque existen otros tipos de uso común como el yute, sisal, lino y cáñamo han sido consideradas como prometedoras alternativas de sostenibilidad en diversas industrias como en la construcción, donde mostraron un alto potencial para prevenir el desconchado del hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) a altas temperaturas, ya que la contracción de las fibras creó espacios interfaciales con la matriz del cemento mejorando la permeabilidad pero con una disminución de la resistencia a la compresión (Ando et al. 2021) (Zhang, Tan, y Tan 2021).

La Superintendencia de Industria y Comercio concedió la patente para fabricar jeans de fique, invención supone una alternativa ambiental para la fibra de algodón, que, además de ser escasa, presenta una importante huella de carbono y daños hídricos,

la confección de un jean a partir de la fibra de fique es posible gracias a un proceso llamado cottonización (Portafolio 2021).

La investigación de fibras naturales se ha extendido a aquellas que no se consideran tradicionales ni convencionales y que se encuentran en pleno desarrollo y expansión como el bambú (*Bambusoideae*) y la cabuya, al presentar una alternativa muy ecológica, las cuales se están utilizando para lograr ciertas combinaciones macroscópicas para estructuras, embalajes electrónicos, automóviles, aeroespaciales y aplicaciones domésticas, donde se mejoran la resistencia, peso, densidad, biodegradabilidad y el costo de producción; en esta mezcla de dos o más componentes distintos al uno se le denomina material matriz que cumple la función de proteger al material de refuerzo (cabuya o bambú) de los ataques químicos y ambientales como el calor, la humedad y la luz solar, beneficiándose a la vez de la presencia de la fibra al adquirir estabilidad térmica, una resistencia flexural mejorada, pérdida del peso, mejora en las propiedades mecánicas de hasta un 50% y características de absorción de humedad (Adediran et al. 2021) (Mora-Espinosa y Ramón-Valencia 2018).

SUAVIZANTES CATIÓNICOS Y ANIÓNICOS

El tratamiento con suavizante mejora la superficie de la tela dándole suavidad y lisura, disminuyendo el coeficiente de fricción entre las fibras y favoreciendo que éstas se suelten del tejido dando como resultado una alta tendencia a la formación de pelusa y liberación de microfibras; en la industria textil se debe elegir, diseñar y seleccionar los materiales y tratamientos adecuados para la reducción del desprendimiento de microfibras sintéticas o naturales de los textiles (Zambrano et al. 2021).

Los suavizantes utilizados en los textiles ofrecen muchas características que mejoran la flexibilidad, la recuperación elástica y la compresibilidad del género, también influyen en las propiedades como la absorción de agua, abrasión, blancura, retardo de la llama, efecto de planchado y electricidad estática entre otras (Carrión-Fité 2016).

Los detergentes contienen en sus formulaciones como responsables del poder de limpieza a los tensioactivos, los cuales pueden ser de tres clases: los aniónicos que siendo sensibles a la presencia de iones multivalentes en el agua son eficaces para eliminar las suciedades; los no iónicos que son muy resistentes a las aguas duras ya que poseen alta solubilidad, pero son menos energéticos que los nombrados anteriormente en la expulsión de impurezas; los catiónicos que son usados como suavizantes de telas; además es necesario destacar que los detergentes incorporan una mezcla de los dos primeros surfactantes en menor concentración de micelas críticas comparadas con su estado puro, obteniendo ventajas como una buena tolerancia al agua dura y un punto de enturbiamiento efectivo más alto (Cheng et al. 2020).

Los suavizantes aniónicos son los cuales en una disolución acuosa se disocian en un catión metálico o amonio y un anión anfifílico o anfipático, teniendo este último la característica de poseer un extremo hidrofílico y el otro hidrófobo, es decir, que el uno es soluble en agua y el otro no, por lo que son muy compatibles con los diversos tipos de jabones y detergentes, ayudando a generar espuma (Aguirre y Rivera 2017).

Los surfactantes aniónicos se ionizan en el agua y se cargan negativamente por lo que pueden unirse fácilmente a sustratos o materiales de carga positiva como la arcilla y las telas, ya que debido a su naturaleza tienden a formar mucha espuma por lo que son muy eficaces para eliminar la suciedad y las manchas aceitosas, encontrándose dentro de estos tensoactivos a las familias de alquil

sulfatos (AS), sulfonatos de alquilbenceno lineal (LAS) y alfa olefin sulfonatos (AOS) (Cheng et al. 2020).

Los suavizantes catiónicos son capaces de disociarse en una disolución acuosa en un catión orgánico anfífilo y un anión halogenuro, se utilizan como agentes antiestáticos ya que se absorben fácilmente sobre sustratos cargados negativamente, debido a que su carga positiva permite utilizar bajas concentraciones de este, consiguiendo una muy buena sustentividad en las fibras textiles y grandes resultados de suavidad como es el caso del amonio cuaternario (Aguirre y Rivera 2017).

Los lípidos comúnmente utilizados para el acondicionamiento de textiles en el suavizado de fibras aniónicas como el algodón de superficie rugosa y de celulosa regenerada que es lisa, son DEEDMAC que es el cloruro de dietiléster dimetilamonio y REWOQUAT WE-15 que es el metosulfato de dicarboxietil hidroxietil metilamonio (Kumar et al. 2017).

Las dispersiones coloidales se constituyen como la clase más importante de las formulaciones utilizadas en los sustratos textiles, debido a que la categoría de coloides denominadas vesículas actúan como agentes acondicionadores en el suavizado de las telas de celulosa aniónica, exhibiendo mayor eficiencia, mejor biodegradabilidad a bajo costo (Kumar et al. 2018). Las vesículas catiónicas se depositan en forma de mono capas en la superficie de los sustratos de celulosa aniónica como entidades intactas formando niveles de autovoltaje (SVL) estables con carga opuesta, las cuales se componen de lípidos como DEEDMAC y REWOQUAT WE 15 muy utilizadas en las formulaciones de los suavizantes de telas, ya que las dos tienen tamaños y potenciales zeta similares pero poseen diferentes comportamientos de la fase de las bicapas lipídicas que lo constituyen (Kumar et al. 2018). Menciona Kumar et al (2018) que en los lípidos DEEDMAC a temperatura ambiente existen bicapas en fase de gel sólido en tanto que en REWOQUAT WE 15 están las bicapas en fase líquido cristalina.

Los surfactantes catiónicos provienen por lo general de un amonio cuaternario, los cuales presentan estructuras con varias cadenas de alquilo que se unen a un átomo de nitrógeno el mismo que lleva una carga positiva, razón por la cual estos tensioactivos son utilizados como agentes antiestáticos y limpiadores de los tejidos y reductores de la fricción entre fibras (Cheng et al. 2020).

Se ha identificado la siguiente problemática científica: el uso de las fibras sintéticas ha cobrado mucha importancia y desarrollo en la industria textil ya que existen muchos géneros confeccionados con fibras de acrílico, poliéster y poliamidas lo cual puede evidenciarse en la gran cantidad de prendas que fabrican las pequeñas y grandes industrias a nivel mundial y que son de preferencia del mercado consumidor, lo que ha originado que luego de su tiempo de vida útil estos artículos sean desechados y debido a su naturaleza sintética tardan más de 100 años en desintegrarse contaminando así al ambiente.

Lo anotado motivó a realizar el presente estudio, cuyo objetivo fue identificar un tratamiento que permita suavizar el hilo de cabuya para elaborar tejidos textiles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se efectuó en el laboratorio de la Carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte, ubicado en la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra, Altitud 3050 ms.n.m.

Factores en estudio. Suavizantes, concentración y temperatura.

Tratamientos. Para alcanzar el objetivo propuesto, y considerando los resultados reportados por Betancour et al. (2017), en un

estudio similar, se evaluaron ocho tratamientos resultantes del arreglo factorial de los tres factores y sus dos niveles: suavizantes Sapamina y Acetato de sodio, en concentración 0,2% y 4% y temperatura 40 °C y 60 °C (Cuadro 1), con tres repeticiones para un total 24 unidades experimentales.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para determinar el efecto de suavizantes en la suavidad, resistencia y elongación de hilos de cabuya.

FACTOR ES	NIVE LES	TRATAMIENTOS	
		CODIG O	DESCRIPCION
Suavizan tes (S)	S1	S1C1T1	Sapamina OC, 0,2%, 40 °C
	S2	S1C1T2	Sapamina OC, 0,2%, 60 °C
		S1C2T1	Sapamina OC, 4%, 40 °C
Concent ración (C)	C1	S1C2T2	Sapamina OC 4%, 60 °C
	C2	S2C1T1	Acetato, 0,2%, 40 °C
		S2C1T2	Acetato, 0,2%, 60 °C
Temper atura (T)	T1	S2C2T1	Acetato, 4%, 40 °C
		S2C2T2	Acetato, 4%, 60 °C
	T2		

Unidad experimental. La unidad experimental estuvo constituida por 20 gramos de hilo de cabuya cuya fibra había sido extraído de las hojas de la planta por métodos mecánicos sin tratamiento químico. El material fue adquirido en la zona de Intag, Cantón Cotacachi, Provincia de Imbabura.

Diseño Experimental. Los datos se analizaron para el arreglo factorial 2 x 2 x 2 con tres repeticiones, mediante el software estadístico Statgraphics Centurion.

Variables:

Resistencia y elongación. La resistencia y elongación, se midió mediante un dinamómetro JAMES HEAL, modelo TITAN 5 considerando la norma EN ISO 2062:2009 y se expresó en centi Newtons (cN) y en %, respectivamente.

Manejo del Experimento

El proceso consistió de tres fases:

Primera fase: Las muestras de cabuya de título 492 Tex fueron lavadas con agua y con el detergente Invadina DA y Eriopon a 80 °C, durante 30 minutos.

Segunda fase:

- Cada suavizante fue disuelto en 150 ml de agua destilada, en las concentraciones de 0,2 y 4 % respectivamente considerando la relación de baño 1:7,5. El pH se ajustó a 5 mediante la adición de ácido fórmico.
- A continuación, los envases conteniendo las muestras y los suavizantes con sus respectivas dosis, fueron colocados en un Autoclave HG-TC200B DYEING CONTROLLER, y sometidos a la temperatura de 40 y 60 °C, por el tiempo de 45 minutos para la elaboración de las pruebas.

Posteriormente las muestras fueron lavadas con agua destilada y se secaron a temperatura ambiente bajo sombra.

Tercera fase: La resistencia y elongación de cada muestra fue determinada mediante el

dinamómetro JAMES HEAL. Modelo: TITAN 5 bajo la norma EN ISO 2062:2009.

Resultados y discusión

El diseño factorial multinivel que consiste de 24 ejecuciones. El diseño se ejecutó en 3 bloques. El orden de los experimentos fue completamente aleatorizado. Esto aportará protección contra el efecto de variables ocultas.

Tabla 1. Diseño factorial

Bloque	Suavizante	Temp (°C)	Concentración (%)	Resistencia (cN)	Elongación (%)
1	Acetato de sodio y aceite de ricino	40	0,2	5919,16	12,36
1	Acetato de sodio y aceite de ricino	60	0,2	7587,99	10,58
1	Sapamina OC	40	4	10283,94	12,72
1	Sapamina OC	60	0,2	9462,69	10,94
1	Sapamina OC	60	4	10376,11	10,61
1	Sapamina OC	40	0,2	6412,98	9,94
1	Acetato de sodio y aceite de ricino	40	4	8149,46	9,68
1	Acetato de sodio y aceite de ricino	60	4	11080,23	13,11
2	Acetato de sodio y aceite de ricino	60	4	10780,41	11,87
2	Acetato de sodio y aceite de ricino	40	4	9209,78	10,43
2	Sapamina OC	40	4	10121,85	9,03
2	Acetato de sodio y aceite de ricino	60	0,2	7074,9	13,23
2	Sapamina OC	40	0,2	6827,52	9,61
2	Sapamina OC	60	0,2	8554,04	9,79
2	Sapamina OC	60	4	9613,46	8,85
2	Acetato de sodio y aceite de ricino	40	0,2	6222,26	12,46
3	Sapamina OC	40	0,2	7134,25	11,54
3	Acetato de sodio y aceite de ricino	60	4	11336,66	11,53

3	Sapamina OC	60	0,2	9415,08	9,86
3	Sapamina OC	60	4	8734,01	12,78
3	Sapamina OC	40	4	9062,89	12,1
3	Acetato de sodio y aceite de ricino	60	0,2	9611,56	12,78
3	Acetato de sodio y aceite de ricino	40	0,2	5554,31	11,78
3	Acetato de sodio y aceite de ricino	40	4	9412,34	11,78

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para la resistencia indica que hay diferencias estadísticas para el factor temperatura, factor concentración y la interacción temperatura y concentración con un valor de 0,001; 0,000 y 0,0459 respectivamente al 5% de probabilidad. El valor de P 0,2825 determinada para suavizantes es mayor que el valor de 0,05 (5%) indica que no hay diferencia estadística en suavizante en cuanto a la resistencia.

Según el análisis estadístico en la tabla 2 se observa la concentración óptima que es del 4% y la temperatura de 60 °C con el acetato de sodio.

Tabla 2. Análisis de Varianza para-Resistencia

FACTORES	NIVELES	TRATAMIENTOS	
		CODIGO	DESCRIPCION
Suavizantes (S)	S1	S1C1T1	Sapamina OC, 0,2%, 40 °C
	S2	S1C1T2	Sapamina OC, 0,2%, 60 °C
Concentración (C)	C1	S1C2T1	Sapamina OC, 4%, 40 °C
		S1C2T2	Sapamina OC 4%, 60 °C
	C2	S2C1T1	Acetato, 0,2%, 40 °C
		S2C1T2	Acetato, 0,2%, 60 °C
Temperatura (T)	T1	S2C2T1	Acetato, 4%, 40 °C
		S2C2T2	Acetato, 4%, 60 °C
	T2		

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Resistencia en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso,

3 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 88,5259% de la variabilidad en Resistencia. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 81,1496%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 741,417. El error medio absoluto (MAE) de 457,76 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Tabla 3. Coef. de regresion para Resistencia

Coeficiente	Estimado
Constante	1500,87
A: Suavizante	152,702
B: Temperatura	117,121
C: Concentración	1494,74
AB	7,34106
AC	671,772
BC	-17,4455
ABC	-16,7745

Valor óptimo de la Resistencia

Según la tabla N 4 el valor óptimo es de 11065,8 cN que corresponde al acetato de sodio a 60 °C y la concentración del 4 %.

Tabla 4. Valor óptimo de Resistencia

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Suavizante	Acetato de sodio	Sapamina OC	Acetato de sodio
Temperatura	40,0	60,0	60,0
Concentración	0,2	4,0	4,0

En el Fig. 1, se observa que la concentración tiene alta significación, ya que esta ejerce

mayor influencia en la resistencia seguida por la temperatura y ningún efecto del suavizante.

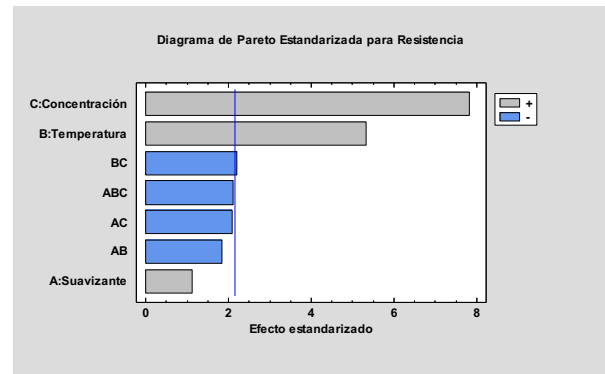


Fig. 1. Diagrama de Pareto estandarizada para Resistencia

Interpretación de resultados de la variable Elongación

En el análisis de la varianza realizado para la elongación (%) la tabla 5 muestra que no hay diferencia estadística para ninguno de los factores ni interacciones.

Tabla 5. Análisis de Varianza para Elongación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Suavizante	224559,	1	224559,	2,36	0,1465
B:Temperatura	20,6276	1	20,6276	0,00	0,9885
C:Concentración	221820,	1	221820,	2,33	0,1488
AB	13,545	1	13,545	0,00	0,9906
AC	220127,	1	220127,	2,32	0,1503
BC	18,7797	1	18,7797	0,00	0,9890
ABC	15,0575	1	15,0575	0,00	0,9901
Bloques	446308,	2	223154,	2,35	0,1320
Error total	1,33029E6	14	95020,6		
Total (corr.)	2,44317E6	23			

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Elongación en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 45,5507% de la variabilidad en Elongación. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de

variables independientes, es 10,5477%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 308,254. El error medio absoluto (MAE) de 192,211 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Tabla 6. Coef. de regresión para Elongación

Coeficiente	Estimado
constante	0,866316
A:Suavizante	9,74298
B:Temperatura	0,0050614
C:Concentración	52,9268
AB	-0,0124211
AC	-52,4899
BC	-0,046557
ABC	0,0416886

Valor óptimo de la Elongación

Según la tabla N 7 el valor óptimo corresponde al acetato de sodio a 40 °C y la concentración del 4 %.

Tabla 7. Valor óptimo de elongación

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Suavizante	Acetato de sodio	Sapamina OC	Acetato de sodio
Temperatura	40,0	60,0	40,0
Concentración	0,2	4,0	4,0

En el Fig. 2, se observa que la concentración y los suavizantes tiene alta significación, ya que esta ejerce mayor influencia en la elongación.

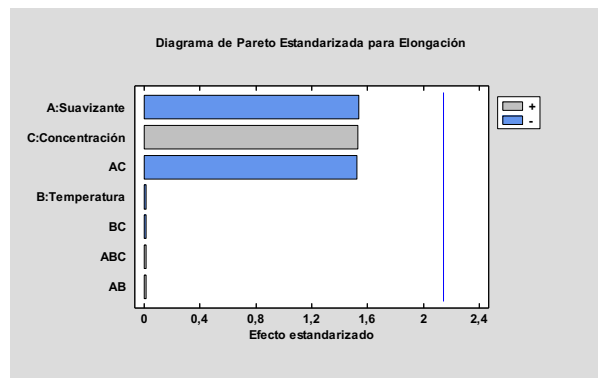


Fig. 2. Diagrama de Pareto Estandarizada para Elongación

CONCLUSIONES

La formulación óptima para el tratamiento de suavizado del hilo de cabuya de título 492 Tex y la influencia en sus propiedades mecánicas de la resistencia a la tracción, es con el acetato de sodio (C₂H₃NaO₂) a 60 °C con la concentración del 4% en el tiempo de 45 minutos; generando una fuerza de 11065,8 cN mejorando la resistencia a la tracción en el 58%.

La elongación óptima se consiguió con la formulación de acetato de sodio (C₂H₃NaO₂) a 40 °C y la concentración del 4 % en el tiempo de 45 minutos, desmostrándose que la extension de 9,52 % del hilo de cabuya no es afectada ya que no incrementa ni disminuye.

La utilización de Sapamina OC genera un resultado de formulación alta a 60 °C de temperatura, con la concentración del 4% en el tiempo de 45 minutos, con una resistencia a la tracción de 10376,11 cN, lo que evidencia que es inferior a la del acetato de sodio.

La resistencia a la tracción de la fibra de cabuya sin ningún tipo de tratamiento fue de 7004,57 cN, lo que verifica un alto incremento utilizando la formulación óptima con el acetato de sodio.

El hilo de cabuya en crudo presenta un tacto áspero y rígido, el cual al ser sometido a los tratamientos con acetate de sodio y Sapamina

OC mejora el aspecto superficial, la suavidad y la lisura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adediran, A A, A A Akinwande, O A Balogun, O S Olasaju, y O S Adesina. 2021. «Experimental evaluation of bamboo fiber/particulate coconut shell hybrid PVC composite». *Scientific Reports* 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85038-3>.
- Aguirre, J., y C. Rivera. 2017. «EVALUACIÓN DEL EFECTO DE BASES CATIONICAS SOBRE TELA TIPO ALGODÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE UN SUAVIZANTE EN INDUSTRIAS QUÍMICAS SAINT GERMAIN LTDA.» Bogotá. <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/6326>.
- Ando, A, R C Kirkbride, D C Jones, J Grimwood, y Z J Chen. 2021. «LCM and RNA-seq analyses revealed roles of cell cycle and translational regulation and homoeolog expression bias in cotton fiber cell initiation». *BMC Genomics* 22 (1). <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07579-1>.
- Betancourt Chávez, Diego Gustavo, y Dolores Krupskaya Salazar Garces. 2017a. «Mejoramiento del proceso de suavizado de la fibra de cabuya para elaborar géneros textiles». *INNOVA Research Journal* 2 (8.1): 336-49. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.388>.
- . 2017b. «Mejoramiento del proceso de suavizado de la fibra de cabuya para elaborar géneros textiles». *INNOVA Research Journal* 2 (8.1): 336-49. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.388>.
- Cali, L. 2019. «ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN Y OCUPACIÓN DE LA CABUYA EN LA PARROQUIA SAN GERARDO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO». Riobamba: Riobamba. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6243>.
- Carrión-Fité, F. J. 2016. «Deposition of solid impurity during washing of softented cotton in function of the mixtures of surfactants». *Tenside, Surfactants, Detergents* 53 (4): 387-91. <https://doi.org/10.3139/113.110441>.
- Cheng, K C, Z S Khoo, N W Lo, W J Tan, y N G Chemmangattuvalappil. 2020. «Design and performance optimisation of detergent product containing binary mixture of anionic-nonionic surfactants». *Heliyon* 6 (5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03861>.
- Coskun, K., A. Mutlu, M. Dogan, y E. Bozaci. 2019. «Effect of various enzymatic treatments on the mechanical properties of coir fiber/poly(lactic acid) biocomposites». *JOURNAL OF THERMOPLASTIC COMPOSITE MATERIALS*. <https://doi.org/10.1177/0892705719864618>.
- George, Michael, Paolo G Mussone, Kirill Alemaskin, Michael Chae, John Wolodko, y David C Bressler. 2016. «Enzymatically treated natural fibres as reinforcing agents for biocomposite material: mechanical, thermal, and moisture absorption characterization». *JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE* 51 (5): 2677-86. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9582-z>.
- Guzmán, R E, S Gómez, O Amelines, y G M Aparicio. 2018. «Superficial modification by alkalization of cellulose Fibres obtained from Fique leaf». En *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 437. Institute of Physics Publishing. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85056626961&doi=10.1088%2F1757-899X%2F437%2F1%2F012015&partnerID=40&md5=ea273e8f611852b7eebe002ad7b5a383>.
- Jurado, F., y C. Checa. 2014. «Mejoramiento de la calidad de la fibra de cabuya y su aplicación.» Ibarra. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2658>.
- Kumar, A, V Dahl, J Kleinen, T Gambaryan-Roisman, y J Venzmer. 2017. «Influence of lipid bilayer phase behavior and substrate roughness on the pathways of intact vesicle depositionA streaming potential study». *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 521: 302-11. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.07.066>.

- Kumar, A, J Kleinen, T Gambaryan-Roisman, y J Venzmer. 2018. «Electrokinetic investigation of deposition of cationic fabric softener vesicles on anionic porous cotton fabrics». *Journal of Colloid and Interface Science* 514: 132-45. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.11.062>.
- Lopez, X, y D Torbisco. 2020. «Aprovechamiento de la fibra de cabuya para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la mezcla tradicional de adobe en una unidad de albañilería en el distrito de Abancay, departamento de Apurímac». *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://hdl.handle.net/10757/654799>.
- Masabalín, M. 2019. «Diseño de bolsos con técnicas de tejidos en fibra de cabuya». *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Diseño, Artes y Arquitectura. Carrera de Diseño de Modas*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Diseño, Artes y Arquitectura. Carrera de Diseño de Modas. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/29148>.
- Mora-Espinosa, William Javier, y Bladimir Azdrubal Ramón-Valencia. 2018. «Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos». *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 41 (161): 479. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.525>.
- Páez, K. 2020. «PROCESO DE SUAVIZADO A LA FIBRA NATURAL CABUYA PARA LA APLICACIÓN EN UNA LÍNEA DE ACCESORIOS DE MODA». Ambato: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/2960>.
- Palacios Carvajal, Marco Javier, Tito Oswaldo Castillo Campoverde, y Carmen Edith Donoso León. 2018. «Resistencia a compresión del superadobe, usando fibras de cabuya y polipropileno como contenedor». *Caribeña de Ciencias Sociales*, n.º diciembre (diciembre). <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/12/resistencia-compresion-superadobe.html>.
- Paredes Salinas, Juan G., Cristian F. Pérez Salinas, y Christian B. Castro Miniguano. 2017. «Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz». *Enfoque UTE* 8 (3): 1-15. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>.
- Portafolio. 2021. «Jean de fique: una alternativa sostenible de la fibra nacional | Negocios | Portafolio». Colombia. 2021. <https://www.portafolio.co/negocios/jean-de-fique-una-alternativa-sostenible-de-la-fibra-nacional-551604>.
- Rojas, C M M, M F R Velásquez, A Tavolaro, A Molinari, y C Fallico. 2017. «Use of vegetable fibers for PRB to remove heavy metals from contaminated aquifers—comparisons among cabuya fibers, broom fibers and ZVI». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14 (7). <https://doi.org/10.3390/ijerph14070684>.
- Uribe, E., y A. Soto. 2015. «Estudio de factibilidad para la implementación de una micro-empresa productora de fibra de dos variedades de agave cabuya negra (Agave americana l) y agave sisal (Agave sisalana perrine) para la elaboración de artesanías en la provincia de Cotopaxi, cantó». Latacunga: LATACUNGA / UTC / 2015. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2635>.
- Zambrano, Marielis C., Joel J. Pawlak, Jesse Daystar, Mary Ankeny, y Richard A. Venditti. 2021. «Impact of dyes and finishes on the microfibers released on the laundering of cotton knitted fabrics». *Environmental Pollution* 272 (marzo): 115998. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115998>.
- Zhang, D, G Y Tan, y K H Tan. 2021. «Combined effect of flax fibers and steel fibers on spalling resistance of ultra-high performance concrete at high temperature». *Cement and Concrete Composites* 121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104067>.
- Zhuo, Guangming, Xiaolin Zhang, Xiao Jin, Mei Wang, Xiongnan Yang, y Shaoge Li. 2020. «Effect of Different Enzymatic Treatment on Mechanical, Water Absorption and Thermal Properties of Bamboo Fibers Reinforced Poly(Hydroxybutyrate-co-Valerate) Biocomposites». *JOURNAL OF*

POLYMERS AND THE ENVIRONMENT 28 (9): 2377-85. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01781-0>.