

FIBRA DE GUADUA COMO REFUERZO DE MATRICES POLIMÉRICAS

BAMBOO FIBER REINFORCEMENT FOR POLYMER MATRIX

ALNEIRA CUÉLLAR

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Departamento de Ingeniería Química, acuellarb@unal.edu.co

ISMAEL MUÑOZ

Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, imunozc@unal.edu.co

Recibido para revisar Octubre 24 de 2008, aceptado Febrero 6 de 2009, versión final Marzo 7 de 2009

RESUMEN: En el presente trabajo se estudió el efecto que tiene la fibra de *Guadua angustifolia* Kunth con y sin tratamiento químico, empleando hidróxido de sodio al 5 y 10%, sobre las propiedades mecánicas de una matriz polimérica reforzada con 10 y 20% de fibra en peso. Entre las propiedades mecánicas evaluadas, se incluyen pruebas de compresión, flexión e impacto, dando como resultado un aumento en la resistencia mecánica en los ensayos de compresión e impacto, en las muestras con presencia de 10% de fibra modificada con una solución de hidróxido de sodio al 5%, respecto a la resina sin refuerzo.

PALABRAS CLAVE: *Guadua angustifolia* Kunth, materiales compuestos, propiedades mecánicas, tratamiento químico

ABSTRACT: It was studied the effect that has the fiber of *Guadua angustifolia* Kunth with and without chemical treatment, it was used a solution of hydroxide of sodium at 5 and 10% about the mechanical properties of a matrix polymeric reinforced with 10 and 20% fiber in weight. Compression, flexion and impact test were used, giving an increase as a result in the mechanical resistance in the compression test and impact, in the samples with presence of 10% of fiber modified with a solution of hydroxide of sodium to 5%, regarding the resin without reinforcement.

KEYWORDS: *Guadua angustifolia* Kunth, composites, mechanical properties, chemical treatment

1. INTRODUCCIÓN

Las fibras naturales como sisal, lino, palma, fique, formio, yute, coco, bambú, etc. y otras han sido empleadas en el diseño de materiales. Durante los últimos años estas han sido objeto de estudio como agente de refuerzo en materiales compuestos, sustituyendo parcialmente las fibras sintéticas. Teniendo en cuenta que la mayoría de estos productos son desechos agro-industriales con alto contenido de lignina y celulosa, se convierten en un material atractivo por su abundancia, bajo costo y buenas propiedades mecánicas. La gran aplicación e importancia de los materiales compuestos en ingeniería, específicamente en el diseño de

materiales con características específicas ha permitido que se estudie con más profundidad las propiedades mecánicas de estos y las formas de producirlos. La principal desventaja que presentan las fibras vegetales frente a las sintéticas es su carácter hidrofílico lo que las hace incompatibles con el polímero en el momento de incorporarlas a la matriz polimérica, y que por su misma característica química, fácilmente es degradada por acción de microorganismos. Para disminuir el carácter hidrofóbico de aquellas es necesario recurrir a procedimientos físicos, químicos o combinados que permitan mejorar la compatibilidad con la matriz polimérica (hidrofóbica).

En algunos casos se emplean sustancias reactivas con el polímero, o en otras se retiran componentes que no permiten su fácil compatibilidad. Mediante tratamientos físicos, químicos o enzimáticos es posible modificar la composición de la pared celular compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, consecuentemente mejorando la adhesión a la superficie de la matriz polimérica y aumentando los valores de las propiedades mecánicas del nuevo material en algunos casos.

Es extensa la literatura que describe procedimientos físicos [1-3], químicos [4, 5] y enzimáticos [6, 7] tanto para la remoción de la lignina y la hemicelulosa como para modificar la superficie de las fibras y así mejorar la interacción en la interfase fibra-matriz. Las mejores opciones de pretratamiento existentes son aquellas que combinan la modificación química y física del material lignocelulósico [8]. La guadua es un material poroso de origen vegetal y está constituido por células. Puesto que sus fibras están dispuestas axial y longitudinalmente se considera anisotrópico, ya que sus propiedades físicas y mecánicas varían según el plano considerado; presenta cambio de sus dimensiones debido a la expansión térmica y cambio de volumen a causa de la humedad. Todo esto hace que la guadua se comporte similar a la madera y por esta razón se ha referenciado con los estudios de aquella para la determinación de propiedades físicas y mecánicas. En algunos trabajos de investigación se ha determinado la resistencia a la compresión paralela a la fibra en guadua [9], sin embargo, los valores obtenidos no pueden ser comparados y analizados estadísticamente por diferentes razones. En primer lugar, puesto que no existe norma técnica para la evaluación de algunas propiedades mecánicas de la guadua, y por consiguiente las investigaciones anteriormente mencionadas utilizaron procedimientos diferentes; la segunda, debido a la variabilidad existente en la edad de las muestras ensayadas (1-7 años) y adicionalmente, en muchos de estos trabajos, el número de ensayos fue muy reducido.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Fabricación de las muestras

Para el trabajo en laboratorio fue empleada *Guadua angustifolia* Kunth (Figura 1), entre tres y cinco años de edad provenientes del municipio de Chinchiná (Caldas). Las guadas fueron cortadas y dejadas en campo durante 15 días para que ocurriera el proceso de inmunizado natural. La composición química fue analizada de acuerdo a las Normas Técnicas Colombianas, en el laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de la fibra de *G. angustifolia* Kunth

Table 1. *G. angustifolia* Kunth fiber chemical composition

Componente	% en base húmeda
Humedad (NTC 727)	8.97
Celulosa (NTC 697)	47.06
Lignina (NTC 998)	21.88
Hemicelulosas (por diferencia)	11.82
Extractivos [10]	6.47
Cenizas (NTC 841)	3.80

Las fibras utilizadas para el estudio fueron seleccionadas de la parte interna de los culmos de la basa y sobrebasa por ser las más resistentes físicamente, como fue demostrado por Osorio y Trujillo de los Ríos [11]. Los reactivos para la preparación del material compuesto corresponden a grado comercial.

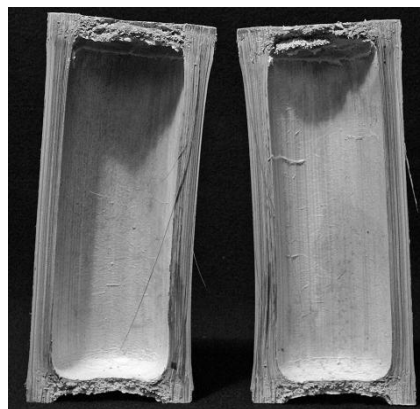


Figura 1. Culmos de *G. angustifolia* Kunth
Figure 1. *G. angustifolia* Kunth fragments

Algunas propiedades físicas de la matriz polimérica (poliéster insaturado ortoftálico, Tabla 2) manufacturado por Andercol S.A. fueron extraídas de la ficha técnica [12].

Tabla 2. Propiedades físicas de *Cristalán 859*
Table 2. Physical properties of *Cristalán 859*

Apariencia	Verdosa transparente
Color Apha	100 máximo
Valor ácido	42 máximo
Viscosidad Brookfield a 25 °C, cp (aguja 3, 10 rpm)	1500 - 2500
Porcentaje de sólidos	68 - 72
Tiempo de gel a 25 °C, min*	7 - 10
Temperatura de exotermia, °C	130 - 145
Tiempo de exotermia, min	15 - 25

*Tiempo de gel: 100 gramos de *Cristalán 859*, 0,5 ml de octoato de cobalto al 6%, 1,0 ml de peróxido de metiletilcetona.

El procedimiento de extracción de las fibras consistió en retirar los nudos y cáscara de los canutos y luego dejarlos en agua por 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo de remojo se extrajeron láminas de 1 mm de grueso, posteriormente se secaron en estufa a 105 °C.

Las láminas fueron molidas en un molino de cuchillas y tamizadas en mallas Tyler, tomando sólo la fracción correspondiente a los tamices número 60 y 120. El descerado se realizó en un extractor Soxhlet mediante extracción con una mezcla de tolueno-etanol (2:1, v/v) por 6 horas, seguido por un lavado con agua destilada y secado a 105 °C, hasta peso constante [13]. La modificación química se llevó a cabo con soluciones de hidróxido de sodio en concentraciones de 5 y 10% (m/v) a 30 °C por 30 minutos, luego fueron lavadas con agua destilada a pH neutro y posteriormente secadas a 105 °C, hasta peso constante [14]. Como etapa preliminar a la preparación del material compuesto se destiló el estireno con el objeto de remover la hidroquinona. La resina se curó con 5% de estireno, 0,2% de octoato de cobalto, 1% de peróxido de metiletilcetona, y fue reforzada con 10 y 20% de fibra con y sin modificación química. Las probetas fueron identificadas con una nomenclatura en la que los dos primeros dígitos representan el porcentaje de soda y los

dos últimos el porcentaje de refuerzo; por ejemplo, la probeta 0510, corresponde a aquella reforzada con 10% de fibra modificada con 5% de soda. Las probetas fueron preparadas mediante incorporación de las fibras en la resina de poliéster previa mezcla del catalizador en un recipiente aparte. La mezcla se realizó manualmente, a temperatura ambiente, intentado controlar la formación de agregados y la aparición de burbujas, mediante pequeños golpes de los moldes sobre la superficie de trabajo. Posteriormente se dejó curar completamente, por un período no inferior a una semana antes de ensayar.

2.2 Prueba de Compresión

En ausencia de una Norma Técnica Colombiana para la evaluación de polímeros reforzados con fibras naturales, fue empleada la norma NTC 673. Muestras reforzadas con fibras de *G. angustifolia* Kunth fueron sometidas a falla empleando una Máquina Universal Tinius Olsen, a una velocidad de tracción de 3,0 mm/s empleando un medidor de tensión Instron®. Un extensómetro fue sujetado a la sección de presión de la muestra para medir la deformación. Tres muestras fueron empleadas por cada ensayo. Los datos de esfuerzo frente a deformación fueron registrados para obtener el módulo de elasticidad.

2.3 Prueba de Flexión

Se desarrollaron pruebas sobre 3 muestras de dimensiones 50,8 mmx 12,6 mmx 1,6 mm de acuerdo a la norma NTC 3201. Fue empleada una velocidad de tracción de 3,0 mm/min. El esfuerzo aplicado y la deformación fueron registrados para determinar el módulo de rotura.

2.4 Prueba de Impacto

Tres probetas de dimensiones 63,5 mmx 12,7 mmx 3,0 mm con muesca en la mitad, de acuerdo a la norma NTC 943 fueron empleadas para el estudio. Los ensayos fueron llevados a cabo en un Péndulo de Sharpy, con un martillo

de 18,75 kg con una velocidad de caída de 5,6 m/s.

3. RESULTADOS

La fibra de *G. angustifolia* Kunth actuó como agente de refuerzo para la matriz polimérica. Un valor máximo de resistencia a la compresión (141,48 MPa) fue obtenido con un contenido de 10% de fibra modificada con 10% de soda. Comparando la resina con el material compuesto, éste último demostró mayor resistencia en las pruebas de compresión, flexión e impacto. Las mejores condiciones fueron 5% de soda y 10% de fibra, puesto que los valores de tales propiedades mecánicas evaluadas fueron superiores a las de otras probetas. Aunque el uso de fibra no modificada como refuerzo de la matriz polimérica produce materiales compuestos resistentes, el tratamiento con hidróxido de sodio mejora la adhesión entre la fibra y la matriz. Probablemente, el aumento en los valores de resistencia, se debe a la mejorada interacción polar en la interfase fibra-matriz [15].

Las fibras de guadua están compuestas de microfibrillas cristalinas de celulosa, en conjunto con lignina y hemicelulosa. A causa del solapamiento de las microfibrillas, la estructura se convierte en una especie de malla.

Cuando la solución alcalina reacciona con los componentes de aquellas, procede a la destrucción de la estructura y la división de las fibras en filamentos, incrementando el área superficial disponible para la interacción con la resina, mejorando así la unión de la fibra con la matriz. El módulo de elasticidad de los materiales compuestos disminuyó hasta 69,19% respecto a la matriz polimérica; sin embargo, a la misma composición de fibra, el módulo del material compuesto con 5 y 10%

de soda aumentó 13,75 y 5,24% frente a la probeta con fibra no modificada, respectivamente. Para las probetas reforzadas con 20% de fibra, el módulo disminuyó notoriamente. Los resultados sobre el ensayo de impacto muestran una disminución del 8,69% en el valor del módulo de resiliencia para las probetas reforzadas con 10 y 20% de fibra sin tratamiento químico, respecto al control (probeta OOOO). Un valor máximo se presentó cuando se reforzó la matriz con 10% de fibra y 5% de soda, alcanzando un incremento en el valor de su propiedad del 34,78% respecto a la resina. La resistencia al impacto disminuyó cuando aumentó la concentración de soda. Puesto que las probetas ensayadas contaban con fibras largas y cortas, puede atribuirse su comportamiento a dos causas principalmente. El material compuesto soportará cargas mayores después del primer agrietamiento de la matriz, si la resistencia a la extracción de las fibras en la primera grieta es mayor que la carga que produjo el primer agrietamiento, ya que en la sección agrietada la matriz no resiste tensión alguna y las fibras soportan toda la carga aplicada al compuesto.

Según observaciones durante los ensayos en laboratorio, la falla por flexión se inició al agrietarse la matriz. En ese momento la carga disminuyó, mostrando que la fibra no fue capaz de transferir por adherencia los esfuerzos a la matriz, el ancho de la grieta aumentó sin presentarse otros planos de falla hasta que la fibra fue extraída. Para el caso de especímenes con mayor proporción de fibras largas, al agrietarse la matriz la fibra sostuvo la carga de agrietamiento, sin embargo, no pudo soportar cargas crecientes. Por el contrario, las probetas que contaban con mayor relación de fibras cortas a largas, únicamente presentaron un plano de falla, pero la fibra falló por ruptura (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de las propiedades mecánicas de la resina y los materiales compuestos reforzados con fibra de *G. angustifolia* Kunth

Table 3. Mechanical properties of *composites* reinforced with fiber from *G. angustifolia* Kunth

Probeta	Compresión		Flexión		Impacto Módulo de resiliencia (kg*m/m ²)
	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo máximo (kPa)	Módulo de rotura (MPa)	
0000	104,87	7,20	574,86	184,13	2300
0010	107,31	4,58	699,45	167,99	2100
0020	42,99	2,94	691,60	177,64	2100
0510	131,75	5,21	558,18	148,34	3100
0520	63,38	3,07	574,86	129,37	2100
1010	141,48	4,82	549,36	146,12	2500
1020	41,25	2,22	549,36	123,62	1500

4. CONCLUSIONES

Por sus significativas propiedades físicas y mecánicas, las fibras de *G. angustifolia* Kunth representan una alternativa viable como posible material de refuerzo en matrices poliméricas. Las fibras empleadas en éste trabajo actúan como verdaderos refuerzos, siendo más evidente el efecto en las probetas con 10% de fibra modificada con 5% de soda.

Los bajos resultados en las muestras reforzadas con 20% de fibra con y sin modificación química, se deben posiblemente a la formación de aglomerados de fibra, ante la imposibilidad de obtener una buena mezcla a causa de la alta viscosidad del sistema fibra-polímero, generando inadecuada adherencia. Para confirmar la teoría que la aglomeración de las fibras y la consecuente falta de adherencia influyen sobre las propiedades de las probetas reforzadas con 20% de fibra con o sin tratamiento químico es preciso examinar la superficie de falla de los especímenes. En caso que las fibras presenten una falla tipo extracción, demostrará que hubo poca adherencia, caso contrario con aquellas que presenten falla por ruptura.

En general, las fibras utilizadas como refuerzos deben tener una gran resistencia a la tensión y a la vez un alto módulo de elasticidad, por esta razón la fibra de *G. angustifolia* Kunth, tendría gran aplicación en este tipo de materiales. Esta rigidez le permite a la fibra resistir grandes

cargas presentando poca deformación antes de romperse, lo que la hace potencialmente apropiada para refuerzos estructurales. Comparada con fibras sintéticas, las fibras naturales tienen gran potencial especialmente considerando su baja densidad.

Para aplicaciones prácticas es necesario estudiar mucho más éste sistema, y evaluar la estabilidad de las fibras y el material compuesto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Oxider S.A. la donación de reactivos, y al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales por el análisis mecánico de las muestras.

REFERENCIAS

- [1] KRUMP, H., ŠIMOR, M., HUDEC, I., JAŠŠO, M., LUYT, A.S. Adhesion strength study between plasma treated polyester fibres and a rubber matrix, *Applied Surface Science*, 240, 268-274, 2005.
- [2] SREEKALA, M.S., THOMAS, S. Effect of fibre surface modification on water-sorption

- characteristics of oil palm fibres, *Composites Science and Technology*, 63, 861-869, 2003.
- [3] BOTARO, V.R., DOS SANTOS, C.G., ARANTES-JÚNIOR, G., da Costa, A.R. Chemical modification of lignocellulosic materials by irradiation with Nd-YAG pulsed laser, *Applied Surface Science*, 183, 120-125, 2001.
- [4] PEJIC, B.M., KOSTIC, M.M., SKUNDRIC, P.D., Praskalo, J.Z. The effects of hemicelluloses and lignin removal on water uptake behavior of hemp fibers, *Bioresource Technology*, 99, 7152-7159, 2008.
- [5] VAN DE WEYENBERG, I., IVENS, J., De COSTER, A., Kino, B., Baetens, E., Verpoest, I. Influence of processing and chemical treatment of flax fibres on their composites, *Composites Science and Technology*, 63, 1241-1246, 2003.
- [6] YANG, Q., ZHAN, H., WANG, S., Fu, S., Li, K. Modification of eucalyptus CTMP fibres with white-rot fungus *Trametes hirsute* – Effects on fibre morphology and paper physical strengths, *Bioresource Technology*, 99, 8188-8124, 2008.
- [7] BATTISTEL, E., MORRA, M., MARINETTI, M. Enzymatic surface modification of acrylonitrile fibers, *Applied Surface Science*, 177, 32-41, 2001.
- [8] EMMEL, A., MATHIAS, A.L., WYPYCH, F., RAMOS, L.P. Fractionation of *Eucalyptus grandis* chips by dilute acid-catalysed steam explosion, *Bioresource Technology*, 86, 105-115, 2003.
- [9] GARCÍA, O.L., MARTÍNEZ, C., DIXON, E. Puentes en do mayor, *Memorias I Congreso Mundial del Bambú*. Armenia, Colombia, 1991.
- [10] HAN, J.S., ROWELL, J.S. Chemical composition of fibers, TAPPI Press, San Francisco, 1997.
- [11] OSORIO SERNA, L.R., TRUJILLO DE LOS RÍOS, E.E. Caracterización Físico-Química de la fibra de guadua *Angustifolia* Kunth [Trabajo de Grado]. Manizales, Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [12] COLOMBIA. ANDERCOL S.A. *Boletín técnico Cristalán 859*. Medellín, 2000.
- [13] SUN, R.C., TOMKINSON, J., WANG, S., ZHU, W. Characterization of lignins from wheat straw by alkaline peroxide treatment, *Polymer Degradation and Stability*, 67, 101-109, 2000.
- [14] MOHANTY, A.K., KHAN, M.A., HINRICHSSEN, G. Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics-polyester amide composites, *Composites: Part A: applied science and manufacturing*, 31, 143-150, 2000.
- [15] KARNANI, R., KRISHNAN, M., NARAYAN, R. Biofiber-Reinforced Polypropylene Composites, *Polymer Engineering and Science*, 37, 476-483, 1997.