



DEVELOPMENT OF BIOCOMPOSITES MATERIALS REINFORCED WITH COLOMBIAN'S NATURAL FIBERS

DESARROLLO DE MATERIALES BIOCOMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES COLOMBIAS

Mora, W. J.*

**Esp. William Javier Mora Espinosa. Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, Docente Programa de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140) e-mail: wjme11@gmail.com*

Ramon B.A.*

PhD. Bladimir Azdrubal Ramón Valencia. Docente Programa de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140) e-mail: hbladimir@unipamplona.edu.co

Ramon F

Msc. Fabuer Ramon Valencia. Estudiante de doctorado, Dpto. Ciencias y Técnicas de la Navegación, Máquinas y Construcciones Navales. Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas Navales. Universidad del País Vasco (UPV/EHU), España.

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140

Abstract:

The biocomposites are ecologically viable alternative for the replacement of conventional composites such as fiberglass and carbon in the manufacture of components or parts of equipment, where its function may or may not require a high mechanical strength values and also fulfill an aesthetic function. These materials are formed from a polymeric resin matrix is part of the natural fibers which act as reinforcement, allowing improved mechanical and thermal properties of the resin without fiber. Investigations of different authors have demonstrated the efficiency of the natural fibers to decrease degradation times when the polymeric resin has completed its operating cycle and is subjected to environmental conditions and natural processes of decay, allowing a reduction of pollution in environment.



The first stage of the following investigation is to evaluate and select various types of natural fibers produced in the Colombian territory and which comply with the technical specifications to serve as reinforcement for making biocomposites. This measure takes into account the fibers that are worked by craftsmen by peasants, as well as by various ethnic groups throughout the length and breadth of our country, which would facilitate the extraction, processing and finishing under the conditions required. Later, after assessing the physicochemical properties of the fibers, it is determined which ones are most suitable for use as reinforcement. Once the optimum braided fibers selected is continued to determine the conditions of manufacture biocomposite material according to conventional methods for producing composite materials. With the completion of this stage the new material is subjected to mechanical testing to determine their behavior to tensile and bending, similarly the thermal properties of the new formulations of biocomposites were examined by temperature sweeps specialized techniques of Differential Scanning Calorimetry (DSC) and thermogravimetric (TGA) . Knowing the values of the mechanical properties and thermal transitions, we proceed to make a comparative analysis of their behavior with other materials of equivalent properties, this procedure is performed by a software known as Edupack, Professor Michael F Ashby. Finally with the results obtained, one can determine which components can be manufactured with these materials having properties similar to those currently used and making a prototype of a part used in the automotive industry developed biocomposite material.

Keywords: Mechanical characterization, thermal and chemical characterization, biocomposites, natural fibers, polymer matrix

Resumen

Los materiales biocompuestos son una alternativa ecológicamente viable para el reemplazo de materiales compuestos convencionales como la fibra de vidrio y de carbono en la fabricación de componentes o partes de equipos, en donde su función puede o no requerir de unos valores de resistencia mecánica altos o pueden cumplir funciones de tipo estético. Estos materiales están conformados de una resina polimérica que hace parte de la matriz y fibras naturales que actúan como refuerzo, permitiendo mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de la resina sin fibra. Investigaciones de diferentes autores han demostrado la eficiencia de las fibras naturales para disminuir los tiempos de degradación de la resina polimérica cuando este ha cumplido su ciclo funcional y se someta a condiciones ambientales y procesos naturales de descomposición, lo que permite la reducción de la contaminación en el medio ambiente.

La primera etapa de la siguiente investigación consiste en evaluar y seleccionar los diversos tipos de fibras naturales que se producen en el territorio Colombiano y que cumplan con las especificaciones técnicas para servir como refuerzo para la fabricación de biocompuestos. En esta medida se tendrá en cuenta las fibras que son trabajadas de manera artesanal por campesinos y campesinas, como también por diversos grupos étnicos a lo largo y ancho de nuestro país, lo que facilitaría la extracción, el procesamiento y el acabado final según las condiciones que se requieran. Posteriormente y después de valorar las propiedades físico-químicas de las fibras, se determinara cuáles son las más aptas para utilizar como refuerzo. Una vez obtenido el trenzado óptimo de las fibras seleccionadas se prosigue a determinar las condiciones de fabricación del

Universidad de Pamplona. Km 1, vía Bucaramanga El Buque. PBX: 5685303 Ext. 140
sima@unipamplona.edu.co – Pamplona. Colombia



material biocompuesto siguiendo procedimientos convencionales para la obtención de materiales compuestos. Culminada esta etapa se somete el nuevo material a pruebas de tipo mecánico para definir su comportamiento a esfuerzos de tracción y flexión, de igual forma las propiedades térmicas de las nuevas formulaciones de biocompuestos se examinarán mediante barridos de temperatura con técnicas especializadas de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Termo-gravimetría (TGA). Conocidos los valores de las propiedades mecánicas y de las transiciones térmicas, procedemos a realizar un análisis comparativo de su comportamiento con otros materiales de propiedades equivalentes, este procedimiento se realiza mediante un software conocido con el nombre Ces-Edupack, del Profesor Michael F Ashby. Finalmente, con los resultados obtenidos, se puede determinar los componentes que se pueden fabricar con estos materiales que poseen propiedades similares a los usados actualmente y fabricar un prototipo de una pieza utilizada en la industria automotriz con el material biocompuesto desarrollado.

Palabras claves: Caracterización mecánica, caracterización térmica y química, biocompuestos, fibras naturales, matriz polimérica

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo, los materiales de uso cotidiano en hogares, trabajo, transporte, recreación, estudio, automóviles, aviación, y navegación entre otros, generalmente son componentes cuyo proceso de degradación natural toma años en realizarse, constituyéndose en un gran problema a nivel mundial, debido a la falta de estrategias para el manejo adecuado de los residuos. Durante muchas décadas, diversas civilizaciones se han visto afectadas por la transformación o destrucción de su entorno, debido al deterioro progresivo de los recursos disponibles por altos niveles de contaminación debido a la extracción, producción y consumo desmedido.

La importancia de desarrollar una línea de nuevos materiales que sean cada vez más amigables con el medio ambiente, cada día toma más importancia, teniendo en cuenta el alto consumo de energía que representa la producción de compuestos de fibra de vidrio y carbono de base polimérica.

De otro lado, el consumo de materiales compuestos de matriz termoplástica y termoestable es cada vez mayor, provocando un impacto medio ambiental negativo de tipo invernadero producto del alto nivel de desechos orgánicos que terminan en los vertederos. Por tanto, el disminuir el uso indiscriminado de esta clase de materiales, es

una tarea de la sociedad en general y en especial de los países en vía de desarrollo por la falta de pocas o casi nulas políticas de manejo de residuos, lo que representa un deterioro irreversible de los ecosistemas afectados y la pérdida total o parcial de los pocos recursos disponibles.

Mediante el desarrollo de biocompuestos reforzados con fibras naturales disponibles en Colombia, se pretende alcanzar nuevos avances en la fabricación de materiales con características biodegradables, en donde se puede detener el consumo inapropiado de materiales obtenidos a partir de los derivados del petróleo. Por tanto, con la siguiente investigación se busca ofrecer nuevas alternativas de materiales, como por ejemplo se puede citar la resina que se propone en el siguiente trabajo con características biodegradables. De otro lado, se tiene el refuerzo con fibras naturales producidas en Colombia, como material de relleno para el uso de fabricación de piezas de tipo industrial

Marco teórico

Las fibras naturales se han utilizado ampliamente para reforzar matrices de polímeros en diversas investigaciones a través del mundo. Por sus innegables propiedades mecánicas permiten mejorar el biocompuesto

Universidad de Pamplona. Km 1, vía Bucaramanga El Buque. PBX: 5685303 Ext. 140

sima@unipamplona.edu.co – Pamplona. Colombia



desarrollado. Entre las principales fibras utilizadas y su producción alrededor del mundo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Commercially major fiber sources. [1]

Fiber source	World production (1000 ton)
Bamboo	30,000
Jute	2300
Kenaf	970
Flax	830
Sisal	378
Hemp	214
Coir	100
Ramie	100
Abaca	70
Sugar cane bagasse	75,000
Grass	700

Existen seis tipos principales de fibras que pueden ser usadas en materiales biocompuestos, estas son [2]:

Liber fibras (*bast fibers*): jute, flax, hemp, ramie and kenaf

Fibras de hoja (*leaf fibers*): abaca, sisal and pineapple

Fibras de semillas (*seed fibers*): coir, cotton and kapok

Fibras de nucleo (*core fibers*): kenaf, hemp and jute

Fibras de hierba y caña (*grass and reed fibers*): wheat, corn and rice

Otros tipos (*and all other types*): (wood and roots).

Estas fibras tienen características diferentes que les permiten ser usadas en diversas aplicaciones teniendo en cuenta la composición química. En la tabla 2, se reporta los contenidos de celulosa, lignina, hemicelulosa, y de ceras en diversos tipos de fibras naturales [3- 4].

Tabla 2. Composición química de algunas fibras comunes

Fiber	Cellulose (wt%)	Hemicellulose (wt%)	Lignin (wt%)	Waxes (wt%)
Bagasse	55.2	16.8	25.3	-
Bamboo	26-43	30	21-31	-
Flax	71	18.6-20.6	2.2	1.5
Kenaf	72	20.3	9	-
Jute	61-71	14-20	12-13	0.5
Hemp	68	15	10	0.8
Ramie	68.6-76.2	13-16	0.6-0.7	0.3
Abaca	56-63	20-25	7-9	3
Sisal	65	12	9.9	2
Coir	32-43	0.15-0.25	40-45	-
Oil palm	65	-	29	-
Pineapple	81	-	12.7	-
Curaua	73.6	9.9	7.5	-
Wheat straw	38-45	15-31	12-20	-
Rice husk	35-45	19-25	20	14-17
Rice straw	41-57	33	8-19	8-38

Fuente: *Hattalia et al.* Lignin characterization. Polymer Degradation and Stability **2002;76:259-64.**

Las propiedades mecánicas como el esfuerzo de tensión, módulo de Young, alargamiento a rotura y densidad, de algunas fibras naturales utilizadas como refuerzo de matrices poliméricas se muestran en la tabla 3. [5-6].

Tabla 3. Propiedades físico-mecánicas de las fibras naturales

Fiber	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)	Density (g/cm ³)
Abaca	400	12	3-10	1.5
Bagasse	290	17	-	1.25
Bamboo	140-230	11-17	-	0.6-1.1
Flax	345-1035	27.6	2.7-3.2	1.5
Hemp	690	70	1.6	1.48
Jute	393-773	26.5	1.5-1.8	1.3
Kenaf	930	53	1.6	-
Sisal	511-635	9.4-22	2.0-2.5	1.5
Ramie	560	24.5	2.5	1.5
Oil palm	248	3.2	25	0.7-1.55
Pineapple	400-627	1.44	14.5	0.8-1.6
Coir	175	4-6	30	1.2
Curaua	500-1150	11.8	3.7-4.3	1.4

Fuente: *Hattalia et al.* Lignin characterization. Polymer Degradation and Stability **2002;76:259-64.**



Figura 1. Fibras, ubicación y usos de las especies producidas en Colombia. [6 -11]. Fuente: Autor.

2. MATERIALES

2.1. Fibras naturales como alternativa de reemplazo de fibras sintéticas en materiales compuestos.

Las propiedades mecánicas de los diferentes materiales compuestos de fibras naturales fueron probadas y comparadas. La comparación se hizo con las propiedades correspondientes a una estera de materiales compuestos de polipropileno reforzada con fibra de vidrio. Los compuestos con kenaf, cáñamo y sisal mostraron resistencia a la tracción y resultados de módulo comparables pero en las propiedades de impacto el cáñamo parece superar el rendimiento de kenaf. El módulo de tracción, resistencia al impacto y la máxima tensión de tracción en compuestos de polipropileno reforzado con kenaf se incrementan con el aumento de fracción en peso de la fibra. Los compuestos de fibra de coco mostraron propiedades mecánicas más bajas, pero su resistencia al impacto fue mayor que el de los compuestos reforzados con yute y kenaf. En la mayoría de los casos, las propiedades específicas de los materiales

compuestos de fibras naturales se comparan favorablemente con las de la fibra de vidrio. [12].

Tabla 4. Comparación de las fibras naturales vs la fibra de vidrio

Comparison between natural and glass fibres

	Natural fibres	Glass fibres
Density	Low	Twice that of natural fibres
Cost	Low	Low, but higher than NF
Renewability	Yes	No
Recyclability	Yes	No
Energy consumption	Low	High
Distribution	Wide	wide
CO ₂ neutral	Yes	No
Abrasion to machines	No	Yes
Health risk when inhaled	No	Yes
Disposal	Biodegradable	Not biodegradable

Fuente: P. Wambua et al. / Composites Science and Technology 63(2003) 1259–1264

2.2. Ventajas de las fibras naturales frente a las fibras sintéticas.

Los compuestos de fibras naturales como el epoxy - fibra de cáñamo, polipropileno (PP), – fibra de lino y polipropileno (PP)- Estera de fibra de China son particularmente atractivos en aplicaciones automotrices debido a su bajo costo y menor densidad. Las fibras de vidrio usadas para materiales compuestos tienen la densidad de, 2,6 g/cm³ y cuestan entre US\$ 1.30 y US\$ 2.00/kg. En comparación, las fibras de lino tienen una densidad de, 1,5 g/cm³ y costo entre US\$ 0.22 y US\$ 1.10/kg. [13].

Mientras que, las fibras naturales tradicionalmente se han utilizado para llenar y reforzar termoestables, los termoplásticos reforzados con fibra natural, especialmente materiales compuestos de polipropileno, han atraído una mayor atención, debido a su ventaja añadida de reciclabilidad [14].

Los compuestos de fibra natural también son reclamados para ofrecer ventajas ambientales como la reducción de la dependencia fuentes de energía / materia no renovables, emisiones contaminantes más bajas, las inferiores emisiones de gases de efecto invernadero, la recuperación de energía mejorada, vida final de biodegradabilidad de los componentes.



Dado que, tal comportamiento ambiental es un factor importante de aumento en el uso futuro de los materiales compuestos de fibras naturales, un análisis global exhaustivo de la relación de los impactos al medio ambiente de los materiales compuestos con fibras naturales y compuestos convencionales, que cubre todo el ciclo de vida, es justa.[15].

3. METODO

3.1. Moldeo por infusión en vacío (RTM)

El moldeo por inyección bajo vacío VARTM (vacuum-assisted RTM) o VARI (vacuum assisted resin injection) combina las técnicas del moldeo por inyección a baja presión y el moldeo por vacío.

Inicialmente la inyección por vacío consiste en colocar el refuerzo en el molde, verter la resina previamente acelerada y catalizada sobre el mismo, cerrar el molde con contramoldes o manta, hacer vacío en el interior y esperar a que la resina se distribuyera por el refuerzo impregnándolo. Una vez polimerizada podía procederse al desmoldeo. Los inconvenientes de este proceso radican en la no total eliminación de las burbujas de aire en la pieza y los problemas de una precatálisis que obligaba a alargar el tiempo de gel.

Con el método RTM, incluso a presiones del orden de 3 a 5 Kg/cm², los moldes soportan esfuerzos importantes, que pueden alcanzar decenas de toneladas por metro cuadrado de superficie. Obligando a hacer los moldes muy reforzados y pesados, y de difícil manipulación.

El moldeo con ayuda de vacío contribuye a evitar los inconvenientes de las dos técnicas pero tomando las ventajas de ambas, por lo que pasamos a un sistema de inyección a baja presión pero asistida por vacío.

De esta manera el flujo de resina dentro del molde viene ayudado por la depresión que hay en la cavidad no siendo necesarias presiones de inyección elevadas. En la inyección RTM se consigue buena calidad del producto y adaptación del proceso para series medias sin embargo la presión de inyección obliga a utilizar molde rígidos y pesados para que no se

deformen durante el proceso de llenado del molde, lo cual provoca un encarecimiento del método.

El método VARTM es muy adecuado para la fabricación de piezas de gran tamaño con alto comportamiento estructural. La mayor parte de las aplicaciones se dan en la industria naval, aunque existe un gran potencial en el transporte terrestre, infraestructuras y el sector energético.

El contenido de fibra puede llegar al 70%, lo que hace que el comportamiento estructural sea excelente.

Además como se trata de un proceso de molde cerrado las emisiones de estireno son nulas.[16].

Tabla 6. Usos comunes de los compuestos reforzados con fibras naturales

Common applications of natural fibre reinforced composites.

Potential application	Examples
Automotive	Door panels, seat backs, headliners, dash boards, car door, Transport pallets, trunk liners, Decking, rear parcel shelves, spare tyre covers, other interior trim, spare-wheel pan, trim bin
Aircraft	Interior panelling
Construction	Railing, bridge, siding profiles
Household products and furniture	Table, chair, fencing elements, Door panels, interior panelling, Window frames, door-frame profiles, food tray, partition
Electrical and electronics	Mobile cases, laptops cases
Sports and leisure items	Sports and leisure items: Tennis Racket, bicycle, Frames, Snowboards

Fuente: Mei-po Ho. Composites: Part B 43 (2012) 3549–3562

4. RESULTADOS ESPERADOS

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de algunas fibras naturales colombianas y su relación con las propiedades mecánicas.
- Obtener un método de fabricación a escala semi-industrial de piezas automotrices con materiales 100% biodegradables
- Estudiar el comportamiento mecánico a tracción y flexión de los sistemas obtenidos por el método de fabricación de infusión en vacío.

Universidad de Pamplona. Km 1, vía Bucaramanga El Buque. PBX: 5685303 Ext. 140

sima@unipamplona.edu.co – Pamplona. Colombia



- Realizar la selección materiales mediante la técnica del profesor Michel F. Asbhy empleando el programa educativo CES-EDUPAK
- Obtener un prototipo de una pieza automotriz a escala como aplicación de los materiales propuestos.
- Fomentar la investigación en nuevos materiales a partir de fibras naturales con resinas biodegradables como alternativa de sustituto de los materiales convencionales

Referencias Bibliográficas

- [1] Staiger MP, Tucker N. Natural-fibre composites in structural applications. In: Pickering K, editor. *Properties and performance of natural-fibre composites*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing; 2008. p. 269–300.
- [2] Omar Faruka, d,*, Andrzej K. Bledzka, c, Hans-Peter Fink, b, Mohini Sain, d. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. O. Faruk et al. / *Progress in Polymer Science* 37 (2012) p.1552–1596
- [3] Hattallia S, Benaboura A, Ham-Pichavant F, Nourmamode A, Castellan A. Adding value to alfa grass (*Stipa tenacissima* L.) soda lignin as phenolic resins. 1. Lignin characterization. *Polymer Degradation and Stability* 2002;76:259–64.
- [4] Marti-Ferrer F, Vilaplana F, Ribes-Greus A, Benedito-Borras A, Sanz-Box C. Flour rice husk as filler in block copolymer polypropylene: effect of different coupling agents. *Journal of Applied Polymer Science* 2006;99:1823–31.
- [5] Hattallia S, Benaboura A, Ham-Pichavant F, Nourmamode A, Castellan A. Adding value to alfa grass (*Stipa tenacissima* L.) soda lignin as phenolic resins. 1. Lignin characterization. *Polymer Degradation and Stability* 2002;76:259–64.
- [6] Hoareau W, Trindade WG, Siegmund B, Castellan A, Frollini E. Sugar cane bagasse and curaua lignins oxidized by chlorine dioxide and reacted with furfuryl alcohol: characterization and stability. *Polymer Degradation and Stability* 2004;86:567–657.
- [7]. Quiñones Aguilar Cielo. El tejido en las tribus indígenas de Colombia: unidad y diversidad. Geografía humana de Colombia variación biológica y cultural en Colombia (TOMO I). Instituto Colombiano de Cultura Hispánica.
- [8] Artesanías de Colombia S.A. – CENDAR. Artículo sobre el chokolatillo. 10 de junio de 2010.
- [9]. Luis Guillermo Vasco Uribe. **Tejiendo el monte**. Cestería de los embera-chamí. Colección e investigación del antropólogo. Montaje Fondo de Promoción de la Cultura. <http://www.luquiva.net>. 2005.
- [10]. <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/modos/vcostumbres/wake1/pag16-19> El tejido. Biblioteca Luis Ángel Arango. Bogotá.
- [11]. Bejarano de Gamboa Ana Maria. Trajes Regionales del Departamento del Cauca". Paéces y Guambianos. Domingo, 15 de abril del 2007.
- [12]. Wambua Paul, Ivens Jan, Verpoest Ignaas. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?. Department of Metallurgy and Materials Engineering, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg 44 B-3001 Leuven, Belgium. *Composites Science and Technology* 63 (2003) 1259–1264. www.elsevier.com/locate/compscitech.
- [13] Foulk JD, Akin DE, Dodd RB. New low cost flax fibers for composites. SAE Technical paper number 2000-01-1133, SAE 2000 World Congress, Detroit; March 6–9, 2000.
- [14] Mohanty AK, Drzal LT, Misra M. Engineered natural fiber reinforced polypropylene composites: influence of surface modifications and novel powder impregnation processing. *J Adhes Sci Technol* 2002; 16(8):999–1015.
- [15] S.V. Joshia, L.T. Drzal, A.K. Mohanty, S. Arora. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. Received 6 January 2003; revised 28 August 2003; accepted 11 September 2003. *Composites: Part A* 35 (2004) 371–376. www.elsevier.com/locate/compositesa.
- [16] Penagos García Gaspar. Optimización de los materiales empleados y de las técnicas de fabricación de propulsores marinos convencionales con materiales compuestos. Tesis Doctoral. 2011.