

Fibras Naturales como alternativa de refuerzo en materiales compuestos. Una revisión

Natural fibers as an alternative of reinforcement in composite materials. a review.

William Javier Mora Espinosa ^{1*}, Bladimir Azdrubal Ramón Valencia ², Gonzalo G. Moreno Contreras ³

¹. Docente TCO. Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y arquitectura, Grupo de Investigación GIMUP. william.mora2@unipamplona.edu.co

² Docente TC Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y arquitectura, Grupo de Investigación GIMUP. hbladimir@unipamplona.edu.co

³ ² Docente TC Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y arquitectura, Grupo de Investigación GIMUP. gmoren@unipamplona.edu.co

Resumen

Actualmente, existe la necesidad en todo el mundo, de crear nuevos materiales que sean amigables con el medio ambiente, para ser reemplazados por aquellos en donde la naturaleza requiere de tiempos de descomposición elevados. En este contexto, las fibras naturales se presentan como una alternativa de material para el consumo en la fabricación de partes industriales, principalmente por su bajo costo, menor peso y un consumo de energía inferior durante la fase producción, frente a las fibras sintéticas. Por tanto, en el siguiente documento se presenta una revisión, sobre las propiedades más relevantes de las fibras naturales para utilizadas como refuerzo en materiales compuestos. Se destaca inicialmente la estructura y clasificación de las fibras lignocelulosicas, luego las principales propiedades que se pueden determinar, posteriormente se concentra el estudio en las propiedades mecánicas, térmicas y morfológicas, plasmando los resultados obtenidos por diversos autores alrededor del mundo. Finalmente se hace una discusión sobre los resultados y las implicaciones de los mismos en la selección de la matriz polimérica y el proceso de fabricación de materiales compuestos.

Palabras clave: estabilidad térmica, materiales

compuestos, resistencia mecánica, morfología.

Abstract

Currently, there is a need throughout the world to create new materials that are friendly to the environment, to be replaced by those where nature requires high decomposition times. In this context, natural fibers are presented as an alternative material for consumption in the manufacture of industrial parts, mainly due to their low cost, lower weight and lower energy consumption during the production phase, compared to synthetic fibers. Therefore, the following document presents a review on the most relevant properties of natural fibers for use as reinforcement in composite materials. The structure is initially highlighted, then the main properties that can be determined, then the study focuses on the mechanical, thermal and morphological properties, capturing the results obtained by various authors around the world. Finally, a discussion is made about the results and their implications in the selection of the polymer matrix and the composite materials manufacturing process.

Keywords: thermal stability, composite materials, mechanical strength, morphology.

61

1. Introducción

La búsqueda permanente de nuevos materiales amigables con el medio ambiente se fundamenta en la necesidad de reemplazar materiales obtenidos de recursos no renovables, que se caracterizan por su significativa huella de carbono y largos periodos de degradación (Wambua, Ivens, & Verpoest, 2003). Esta conciencia ambiental, en las diversas líneas de producción, se ha concentrado en la búsqueda de matrices y refuerzos de tipo orgánico para la fabricación de materiales compuestos de tipo “bio”, que garanticen las mismas propiedades mecánicas de los materiales convencionales (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012).

Diversas fibras naturales vegetales o lignocelulosicas han sido evaluadas como refuerzo aprovechando su diversidad botánica, clasificandolas en fibras de liber (tejido leñoso), fibras de hoja, fibras de semilla (fibra, grano, cascara, fruta y corteza), fibras de núcleo, fibras de cañas y hierva, así como otros tipos de fibras (madera, raíces, etc.) (Pickering K et al., 2008).

Las múltiples investigaciones desarrolladas, muestran que las fibras naturales tienen un gran potencial como refuerzo, tanto en matrices de base biológica como de base sintética, con propiedades como: resistencia mecánica, alto módulo específico, densidad, bajo peso, estabilidad térmica, bajo costo, menor requerimiento de energía, menor desgaste en el procesamiento, amplia disponibilidad, excelente biodegradabilidad, y resistencia a la deforestación (Saba, Jawaid, Alothman, & Paridah, 2016).

Sin embargo, hay varios retos que enfrentan las fibras naturales para ser útiles como refuerzo en biocompuestos, debido a su carácter hidrófilo, y en consecuencia se genera una adhesión débil en matrices hidrófobas. Por otro lado, su temperatura máxima de degradación oscila alrededor de los 200°C, limitando el uso de matrices con requerimientos de mayor temperatura.

Otros inconvenientes que presentan son la gran variabilidad en las propiedades mecánicas (Sydenstricker, Mochnaz, & Amico, 2003), (Eichhorn, y otros, 2001), menor resistencia a la rotura, inferior elongación, inconvenientes de flujo en la boquilla de máquinas de inyección y presencia de burbujas en el producto (Toriz, Denes, & Young, 2002).

A pesar de todos estos inconvenientes las fibras naturales siguen conservando la ventaja en factores determinantes como el bajo costo, la baja densidad, la menor abrasión a los equipos, menores irritaciones en la piel y vías respiratorias (Mukhtar, Leman, Ishak, & Zainudin, 2018) y la mejorada energía de recuperación (Mohanty, Misra, & Hinrichsen, 2000); ventajas que les han permitido seguir compitiendo con las fibras sintéticas.

A continuación, se realiza una revisión de las diversas propiedades que tienen las fibras naturales y su relevancia en el proceso de selección de la matriz y el proceso de fabricación.

2. Fibras naturales vegetales

Las fibras naturales se clasifican como materiales lignocelulósicos, ya que están compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, así como pequeños porcentajes de pectina y otros compuestos orgánicos de bajo peso molecular (extraíbles), que son de naturaleza polimérica; la celulosa está compuesta de moléculas lineales (polisacárido cristalino) sin ramificaciones, la hemicelulosa es celulosa ramificada de bajo peso molecular, la lignina es un complejo co-polímero amorfo de tipo aromático y la pectina un heteropolisacárido (Sarip, Hossain, Azemi, & Karim Allaf, 2016).

La resistencia y estabilidad estructural de la fibra la proporciona la celulosa que es el componente principal, pero el contenido depende de cada tipo de fibra (Francucci & Rodriguez, 2014). La figura 1, muestra la estructura común de las fibras naturales lignocelulosicas.

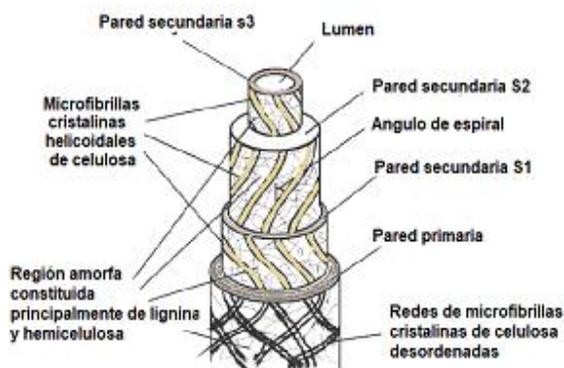


Figura 1. Estructura de una fibra natural (Rong, Zhang, Liu, Yang, & Zeng, 2001)

3. Propiedades de las fibras

Las principales propiedades de las fibras naturales son de tipo geométrico, mecánico, térmico, morfológico, físico, químico, eléctrico, entre otras. (Müssig, Fischer., Graupner, & Drieling, 2010).

Diversos autores han utilizado principalmente tres para evaluar la viabilidad de una fibra como refuerzo en un material compuesto, estas son: las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica y la morfología; a continuación, se presentan algunos de los resultados más significativos en las propiedades mecánicas, térmicas y morfológicas de una muestra representativa de fibras naturales utilizadas como refuerzo en biocompuestos

3.1. Propiedades mecánicas.

La resistencia varía en todas las fibras naturales lignocelulósicas debido a su estructura formada por micro-fibrillas de celulosa acopladas dentro de una matriz amorfa de lignina y hemi-celulosa que se distribuyen a lo largo de la longitud de la fibra, cada fibrilla tiene una compleja estructura estratificada, con una delgada pared primaria que rodea una capa más gruesa y secundaria. (Mohan Rao & Mohana Rao, 2007).

Las microfibrillas de celulosa son las responsables de la resistencia a la tracción y el ángulo en espiral de la estructura afecta las propiedades mecánicas debido a su comportamiento altamente anisotrópico (Gindl W. et al, 2006). Las propiedades son más altas cuando las microfibrillas de celulosa están orientadas a largo del eje de la tensión (Tomczak, Sydenstricker, & Satyanarayana, 2007). Generalmente la resistencia a la tracción de los compuestos de polímeros reforzados con fibra natural aumenta gradualmente con el contenido de fibra, hasta un tope máximo que varía según el tipo de matriz, a partir de este punto su resistencia disminuye, aunque el módulo de Young se incrementa al aumentar la carga de fibra (Arpitha & Yogesha, 2017). La tabla 1, presenta las propiedades mecánicas obtenidas en diversas fibras naturales.

Varios autores han investigado el comportamiento a tracción de las fibras naturales y se observan grandes discrepancias en los valores reportados para la resistencia y el módulo de Young en la literatura, esto debido a que las fibras naturales presentan generalmente secciones transversales variables e irregulares. Los principales errores de medición se presentan en el cálculo del esfuerzo y en valores como la longitud calibrada de la fibra, la velocidad de deformación, el método de agarre, la resolución de la célula de carga y la precisión del actuador, así como la metodología para medir el módulo de elasticidad (Alves F. M., Castro, Martins, Romildo., & Toledo, 2013).

En la determinación de las propiedades mecánicas se debe tener en cuenta que las fibras naturales de constitución similar, pueden tener diferentes valores de resistencia a la tracción debido al estado de alineación de las moléculas; estas, aunque sean químicamente casi idénticas, como el lino y algodón varían; para el primero la resistencia es de 800 a 1500 Mpa, mientras que para el algodón es de 400Mpa (Gordon C J, 2001).

63

De igual manera se ha encontrado gran variabilidad en la resistencia a la tracción incluso en estudios del mismo tipo de fibra; los mayores valores de resistencia obtenidos en estas investigaciones están en las fibras de bambú (503 MPa), jute (300-800 MPa), hoja de piña (413-1627 MPa), Vakka (549 MPa), lino (345-1500), cáñamo (345-1500 MPa), banana (529-759 MPa), Sansevieria Rifasciata (526-598 MPa), sea grass (453-692 MPa), ramio (400-1000 MPa), pineapple leaf fiber (180-1627 MPa), algodón (287-597 MPa), entre otras.

Nuevas investigaciones están descubriendo permanentemente fibras con alta resistencia a la tracción. Las fibras de cáñamo, yute, lino y sisal están siendo usadas en la industria del automóvil (Faruk, Bledzki, Fink, & Sain, 2012).

Tres fibras colombianas estudiadas también presentan buen comportamiento a tracción, estas son cumare (220 MPa), werregue (151-346 MPa) (Mora. W.J. & Ramón. B.A., 2017) y moriche (585 MPa) (Mora W.J., 2017).

3.2. Comportamiento térmico.

Las investigaciones sobre las propiedades térmicas de las fibras naturales se concentran en el análisis de cada cambio de pendiente en la curva del termograma temperatura vs pérdida de peso (TG); el comportamiento de la curva TG en todas las fibras es similar, la primera pérdida de la masa es atribuida a la evaporación de la humedad generalmente en un rango de temperaturas de 25°C a 125°C (Abraham, y otros, 2011).

Una segunda región de pérdida de masa entre 200 a 550°C, se asocia a la descomposición térmica de

la celulosa, con presencia de unos picos endotérmicos, producto de la degradación de la pectina y la hemicelulosa en temperaturas por debajo de 325°C (Yao, Wu, Lei, Guo, & Xu, 2008).

Varios autores coinciden en que por encima de los 367°C se inicia la descomposición de lignina, que, al estar formada por una red compleja de anillos aromáticos con varias ramas, ocurre con una tasa de pérdida de peso muy baja desde la temperatura ambiente hasta valores superiores a 700 °C (De Rosa, y otros, 2011) (Fiore V. Valenza A. & Di Bella G., 2011) (Yang H. Yan R. Chen H. Lee D. F. & Zheng C., 2007).

Finalmente se volatiliza el carbón producto de la degradación de todos los componentes iniciales (Barneto A. G. Carmona J. A. Alfonso J. E. & Sánchez-Serrano R., 2010).

Al elaborar compuestos, el carácter hidrófilo de las fibras no permite la formación de uniones interfaciales fuertes con la matriz, dando como resultado una reducción en las propiedades mecánicas (Girisha & Srinivas, 2012). La humedad en las se ve afectada por variables como el proceso de extracción y secado, este porcentaje determinado por el tipo de tratamiento y el tiempo requerido para evaporar toda la humedad retenida y mejorar su adhesión.

La estabilidad térmica evaluada en diversas fibras naturales, generalmente alcanza a superar los 200°C, es decir, que inician su proceso de descomposición por encima de este valor.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de diversas fibras naturales

| Fibra | Esfuerzo a tensión (MPa) | Módulo de Young (GPa) | % Elongación | Referencia |
|------------------|--------------------------|-----------------------|--------------|---|
| Jute | 393-800 | 10-30 | 1.5-1.8 | (Sanjay, Madhu, Jawaid, Sentharamaikannan, & Senthil, 2018) |
| Sisal | 227-400 | 9-20 | 2-14 | |
| Pineapple leaf | 413-1627 | 34.5-82.5 | 0.8-1 | |
| Kenaf | 250 | 4.3 | | |
| Red banana | 482-567 | | 30.6 | |
| Nendran banana | 407-505 | | 28.3 | |
| Vakka | 549 | 15.85 | 3.46 | |
| Abaca leaf fiber | 418-486 | 12-13.8 | | |
| Alfa | 35 | 22 | 5.8 | |
| Tussah silk | 248.7 | 5.8 | 33.5 | |

| | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-----------|--------------|--|---|
| Nettle | 650 | 38 | 1.7 | (Sanjay, Madhu, Jawaid, Senthamarakannan, & Senthil, 2018) | |
| Flax | 345-1500 | 27.6-8 | 1.2-3.2 | | |
| Hemp | 550-900 | 70 | 1.6 | | |
| Banana | 529-759 | 8.2 | 1-3.5 | | |
| Coir | 108-252 | 4-6 | 15-40 | | |
| Root | 157 | 6.2 | 3 | | |
| Palmyrah | 180-215 | 7.4-60.4 | 7-15 | | |
| Date | 309 | 11.3 | 2.7 | | |
| Bamboo | 503 | 35.9 | 1.4 | | |
| Talipot | 143-294 | 9.3-13 | 32.7-5 | | |
| Snake grass | 278.8 | 9.7 | 2.7 | | |
| Elephantgrass | 185 | 7.4 | 2.5 | | |
| Petiole bark | 185 | 15 | 2.1 | | |
| Spatha | 75.6 | 3.1 | 6 | | |
| Rachilla | 61 | 2.8 | 8.1 | | |
| Rachis | 73 | 2.5 | 13.5 | | |
| Coconut tree leaf's heath | 119.8 | 18 | 5.5 | | |
| Sansevieria Rifasciata | 526-598 | 13.5-15-3 | | | |
| Sansevieria cylindrica | 585-676 | 0.2-11-2 | 11-14 | | |
| Palm | 377 | 2.75 | 13.7 | | |
| Henequen | 430-570 | 11.1-16-3 | 3.7-5-9 | | |
| Bagasse | 290 | 11 | | | |
| Curaua | 158-729 | | 5 | | |
| Sea grass | 453-692 | 3.1-3.7 | 13-26-6 | | |
| Oil palm | 80-248 | 0.5-3.2 | 17-25 | | |
| Piassava | 134-143 | 1-4.6 | 7.8-21-9 | | |
| PALF | 180-1627 | 1.4-82.5 | 1.6-14.5 | | |
| Ramie | 400-1000 | 24.5-128 | 1.2-4 | | |
| Isora | 500-600 | | 5-6 | | |
| Hivernal | 567-1655 | 48.4-95 | 1.1-2.3 | | |
| Alaska | 462-1004 | 46.3-52.7 | 1.1-2.3 | | |
| Niagara | 341-1141 | 28.9-62.3 | 1.1-2.3 | | |
| Oliver | 438-1360 | 34.6-76.4 | 0.9-2.5 | | |
| Cotton | 287-597 | 5.5-12.6 | 3-10 | | |
| Saharan aloe vera cactus leaves | 621.8 | 40.3 | 2.47 | | (Balaji & Nagarajan, 2017) |
| Prosopis Juliflora Bark | 558 | | 1.77 | | |
| Ferula | 475.6 | 52.7 | 4.2 | | |
| Sisal | 511-635 | 9.4-22 | 2-2.5 | | |
| Napier Grass Fiber Strands | 88.4 | 13.15 | 0.99 | | |
| Thespesia | 573 | 61.2 | 0.79 | | |
| Juncus effesus | 113 | 4.38 | 2.75 | | (Maache et al., 2017) |
| Sugar cane | 169.5 | 5.18 | 6.25 | | (Hossain, y otros, 2014), |
| Areca | 123.9 | 1.28 | 22.5 | | (Yusriah, Sapuan, Zainudin, & Mariatti, 2014) |
| Werregue | 151.7-346.5 | 3.35-8.35 | 9.59-62.9 | | (Mora & Ramón B.A., 2017) |
| Caña flecha | 108.4-228 | 1.93-5.13 | 25.5-60.8 | | |
| Palma estera | 59.8-149.6 | 1.33-3.73 | 313.27-48.87 | | |
| Iraca | 61.6-140.2 | 4.51-10.7 | 5.03-15.63 | | |
| Damagua | 11.48-26.08 | 0.07-0.67 | 13.48-34.08 | | |
| Moriche | 585,04 | 9.54 | 40,6 | (Mora W., 2017) | |
| Cumare | 220.5 | 6.4 | 24.39 | (Mora. W.J. & Ramón. B.A., 2017) | |
| Guaruma | 92.5-197.1 | 1.23-3.63 | 24.2-50.2 | (Mora W., 2017) | |
| cabecinegro | 9,9-25,5 | 0,6-2 | 13-17,8 | | |
| esparto | 81.9-235.9 | 1.82-4.42 | 11.37-22.77 | | |
| Fique | 132.4 | 8.2-9.1 | 9.8 | (Gómez, Guzmán, & Ramón, 2016) | |

El límite de estabilidad obtenido por diversos autores para algunas fibras naturales se muestra en la tabla 2.

Esta temperatura influye en las condiciones del proceso de transformación en materiales compuestos usando fibra natural como refuerzo en matrices poliméricas. Un valor promedio para las fibras de 200°C, solo permite utilizar matrices termoplásticas o termoestables, en donde el

proceso de fusión o curado este por debajo de este valor.

La presencia de humedad en las fibras naturales (carácter hidrófilo) es un factor que afecta su uso como refuerzo, debido al comportamiento hidrófobo de las resinas poliméricas y como consecuencia de este fenómeno la unión interfacial se ve disminuida, ocasionando una reducción en las propiedades mecánicas del compuesto (Girisha & Srinivas, 2012), (Miranda, Bica, Nachtigall, Rehman & Rosa, 2013).

Sin embargo, este inconveniente de absorción de humedad e hinchazón posterior de las fibras naturales se puede reducir mediante tratamientos químicos selectivos, mejorando las interacciones interfaciales fibra / matriz y dan como resultado un incremento considerable de las propiedades mecánicas en los compuestos. Las fibras también se han modificado utilizando métodos biológicos como la adición de nano fibras de celulosa y métodos físicos como el tratamiento con plasma. (Cruz & Fanguero, 2016).

El comportamiento térmico de las fibras naturales juega un papel importante, debido al efecto negativo del aumento de la temperatura sobre los componentes de la fibra. este comportamiento garantiza que se conservan sus propiedades mecánicas durante los procesos de fabricación, como extrusión o el moldeo por inyección en termoplásticos (Mohanty, Misra, & Hinrichsen, 2000).

Debido a que la adhesión se puede mejorar con diversos métodos físicos, químicos o biológicos, el parámetro que define la selección de la matriz, es el límite de estabilidad térmica (Tabla 2); los valores obtenidos para las diversas fibras estudiadas se mantienen por encima de los 200°C, límite promedio en las que son estables la mayoría de las fibras naturales, por encima de esta temperatura es cuando sus componentes estructurales como la celulosa y hemicelulosa inician su descomposición.

Tabla 2. Estabilidad térmica de diversas fibras naturales

Un ejemplo de la variación en las propiedades, es el incremento de la resistencia a la tracción en aproximadamente 50% para la palma de durazno, al determinar adecuadamente la sección transversal descartando el área hueca, Otro caso lo presentan las fibras de abacá con errores en las desviaciones estandar del 268% con respecto al área verdadera formada solo por la pared celular

De las investigaciones realizadas, la fibra que mayor estabilidad térmica arrojó fue la de cissus con 290°C, seguida por el Napier grass (250°C),

Saharan aloe vera cactus (238°C) y las fibras de Curauá, alcachofa y cumare con un límite similar de 230°C. En general todas las fibras investigadas pueden soportar procesos de fabricación con temperaturas máxima de 200°C sin perder sus propiedades mecánicas.

3.3. Morfología.

La morfología de las fibras naturales, se analizó mediante la microscopía electrónica de barrido (SEM). La estructura varía de acuerdo al número de células, el tamaño de las paredes celulares y lumen (agujero para transporte de humedad y nutrientes) (Thygesen, 2006).

La sección transversal de las fibras, influye directamente en las características y comportamientos mecánicos (Alves, Castro, Martins, Silva, & Toledo, 2013).

La variación se presenta generalmente al no tomar en cuenta la presencia de vasos de savia (lumen) que pueden representar una gran cantidad de área hueca de la sección transversal total y este hecho puede afectar el resultado de las propiedades a tracción reportadas.

(área maciza) (Parada Quinayá & D'Almeida, 2018).

La Tabla 3, compila algunas micrografías de las estructuras en diversas fibras naturales, donde se aprecian los tres componentes: el lumen, la pared celular y la laminilla media.

| Fibra | Temperatura Límite de degradación °C | Referencia |
|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Alcachofa | 230 | (Fiore et al., 2011), |
| Bambú | 214 | |
| Bagazo | 222 | |
| Okra | 220 | (DeRosa et al., 2011), |
| Cáñamo | 250 | |
| Curauá | 230 | |
| Kenaf | 219 | |
| Yute | 205 | |
| Juncus effusus L | 220 | (Maache et al., 2017) |
| Algodon | 221 | (Yao, Wu, Lei, Guo, & Xu Y., 2008) |
| Cascarilla de arroz | 223 | |
| Paja de arroz | 228 | |
| Madera de arce | 221 | |
| Madera de pino | 234 | |
| Saharan aloe vera cactus | 238 | (Balaji & Nagarajan, 2017) |
| Napier grass | 250 | (Haameem, y otros, 2016), |
| Althaea | 220 | (Sarikanat, Seki, Sever, & Durmuskahya, 2014) |
| Areca | 210 | (Y usriah, Sapuan, Zainudin, & Mariatti, 2014), |
| Caña de azúcar | 200 | (Hossain, y otros, 2014), |
| Cissus quadrangularis | 290 | (Indran & Raj R.E., 2015) |
| Proporis juliflora bark | 217 | (Sarav anakumar, Kumaravel, Nagarajan, Sudhakar, & Baskaran, 2013), |
| Damagua | 210 | (Mora & Ramón B.A., 2017), |
| Werregue | 219 | |
| Palma estera | 225 | |
| Cañaflecha | 220 | |
| Iraca | 227 | |
| Cumare | 230 | (Mora. W.J. & Ramón. B.A., 2017), |
| Moriche | 214 | (Mora W. , 2017). |
| Guaruma | 222 | |
| Esparto | 210 | |
| Cabecinegro | 204 | |

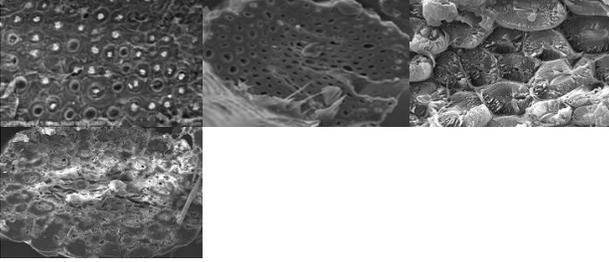
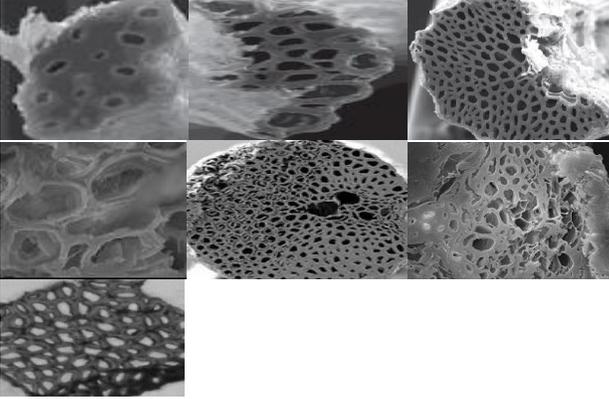
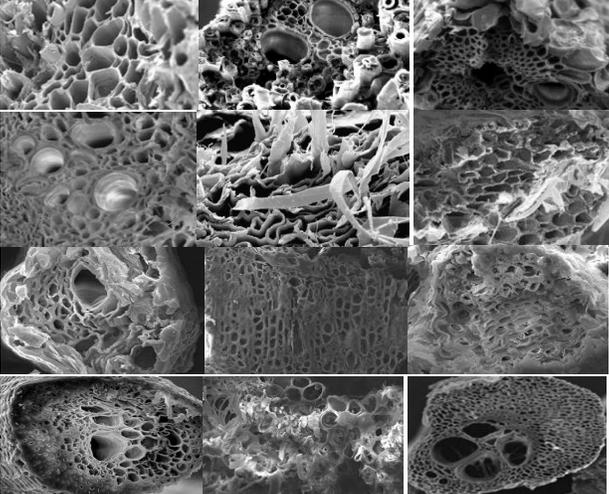
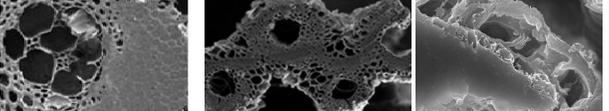
La microscopia electrónica de barrido (SEM) es ampliamente utilizada para el análisis de la microestructura en las fibras naturales, permitiendo determinar la influencia de su estructura en la resistencia a tracción, al determinar el área real entre el lumen y el espesor de pared celular, como lo demuestran las investigaciones realizadas por los autores citados en la tabla 3. Cabe resaltar que existe una relación directa entre el área transversal maciza de la fibra y su alta resistencia mecánica, si la cantidad de micro fibrillas de celulosa es alta y su ángulo respecto a la dirección de la carga tiende a cero (paralelas).

Assumiendo que la sección transversal de la fibra, el lumen y la laguna (agujero más grande) sean uniformes a lo largo de esta, la porosidad se calcula usando software para tratamiento de imágenes, lo cual permite calcular la relación de área porosa y el área maciza (Tran, y otros, 2015).

800 Mpa), sisal (227-400MPa), caraua (158-729 MPa), cumare (220.5 MPa) y werregue (151-346 MPa), que poseen paredes celulares gruesas y

Tabla 3. Morfología de diversas fibras naturales

Algunas resistencias obtenidas en fibras de abacá (418-486MPa), coco (108-252 MPa), jute (393-

| Tipo de estructura | Imagen SEM | Referencia |
|--|--|--|
| <p>Lumen pequeño y pared celular gruesa</p> <p>Areca, Abacá, Cañaflecha,</p> <p>Esparto</p> |  | <p>(Yusriah, Sapuan, Zainudin, & Mariatti, 2014), (Parada Quinayá & D'Almeida, 2018) (Mora & Ramón B.A., 2017) (Mora W. , 2017)</p> |
| <p>Lumen uniforme y pared celular gruesa</p> <p>Caraua, jute, sisal</p> <p>Güerregue, coco, cumare</p> <p>Fique</p> |  | <p>(Alves, Castro, Martins, Silva, & Toledo, 2013) (Mora & Ramón B.A., 2017) (Tran, y otros, 2015) (Mora W. , 2017) (Mina, 2012)</p> |
| <p>Fibras de lumen grande y asimétrico, con pared celular delgada</p> <p>Caña de azúcar, Arundo, Juncus effesus,</p> <p>Palma datilera, alcachofa, seudotallo de plátano,</p> <p>Iraca, Damagua, Palma estera,</p> <p>Cabecinegro, Guaruma, Palma de durazno</p> |  | <p>(Hossain, y otros, 2014), (Fiore, Scalici, & Valenza, 2014) (Maache, Bezazi, Amroune, Scarpa, & Dufresne, 2017) (Amroune, Bezazi, Belaadi, Zhu, & Scarpa, 2015) (Fiore et al., 2011) (Rodríguez, Fangueiro, & Orrego, 2015) (Mora & Ramón B.A., 2017) (Mora W. , 2017) (Parada Quinayá & D'Almeida, 2018)</p> |
| <p>Estructura mixta con lumen asimétrico y grande, con zonas de pared celular maciza</p> <p>Bambu, Heliconia bihai, Moriche</p> |  | <p>(Wang, Zhang, Jiang, Li, & Yu, 2015) (Parada Quinayá & D'Almeida, 2018) (Mora W. , 2017)</p> |

68

zonas con ausencia de lumen, ratifican que soportan mejor la carga que otras fibras con estructura diferente.

Aunque algunas de ellas poseen esta estructura y no cumplen esta regla, como es el caso de las fibras de areca (123.9 MPa), cañaflecha (108-228 MPa), esparto (81-235 MPa) y fique (132.4 MPa), lo que puede ser ocasionado por la configuración interna de las microfibrillas y el ángulo que poseen.

También se observa que las fibras con lumen grande y paredes delgadas presentan una menor resistencia a la tracción como lo demuestran las fibras de caña de azúcar (169.5 MPa), *Juncus effesus* (113 MPa), damagua (11.4-26 MPa) y cabecinegro (9,9-25 MPa).

Otras fibras de estructura mixta (zonas con lumen abundante y zonas con paredes macizas) como el bambu (503 MPa) y el moriche (585 MPa) obtienen buenas propiedades gracias al incremento del área maciza de soporte.

4. Conclusiones

La resistencia mecánica de las fibras naturales está ligada en gran medida a la composición interna de las paredes celulares (microfibrillas de celulosa y ángulo), aunque el análisis de su morfología (espesor de la pared celular, cantidad y tamaño del lumen) puede predecir un buen comportamiento mecánico, algunas fibras con lumen pequeño y gran espesor de pared, demostraron lo contrario en los ensayos a tracción.

La humedad y la estabilidad térmica de las fibras naturales son variables relevantes en el proceso de fabricación de materiales compuestos de matriz polimérica. El carácter hidrófilo de las fibras naturales puede eliminarse mediante procesos de secado y tratamientos superficiales, pero la temperatura máxima que soporta sin degradarse es más compleja de modificar.

La morfología de las fibras naturales es muy variable entre una especie y otra, pero todas comparten tres componentes estructurales (el lumen, la pared celular y la laminilla media), que determinan en gran parte su resistencia mecánica, en donde las fibras con menor cantidad y tamaño de lumen generalmente son más resistentes.

Referencias Bibliográficas.

- Abraham, E., Deepa, B., Pothan, L., Jacob, M., Thomas, S., Cvelbar, U., & Anandjiwala, R. (2011). Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: : A novel approach. *Carbohydrate Polymers*, Volume 86, Issue 4,, 1468-1475.
- Alves, Castro, Martins, Silva, & Toledo. (2013). The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers. *Journal of Materials Research and Technology*, 149–157.
- Amroune, S., Bezazi, A., Belaadi, A., Zhu, C., & Scarpa, F. (2015). Tensile mechanical properties and surface chemical sensitivity of technical fibres from date palm fruit branches (*Phoenix dactylifera* L.). *Composites: Part A* 71, 95–106.
- Arpitha, G., & Yogesha, B. (2017). An Overview on Mechanical Property Evaluation of Natural Fiber Reinforced Polymers. *Materials Today: Proceedings* 4, 2755–2760.
- Balaji, A., & Nagarajan, K. (2017). Characterization of alkali treated and untreated new cellulosic fiber from

- Saharan aloe vera cactus leaves. *Carbohydrate Polymers* 174, 200–208.
- Barneto A. G. Carmona J. A. Alfonso J. E. & Sánchez-Serrano R. (2010). Simulation of the thermogravimetry analysis of three non-wood pulps. *Bioresource Technology*.
- Bledzki A.K. Reihmane S. Gassan J. (1996). Properties and Modification Methods for Vegetable Fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 1329-1336.
- Cruz, J., & Fangueiro, R. (2016). Surface modification of natural fibers: a review. *Procedia Engineering* 155, 285 – 288.
- De Rosa, I., Kenny, J., Maniruzzaman, M., Moniruzzaman, M., Monti, M., Puglia, D., Sarasini, F. (2011). Effect of chemical treatments on the mechanical and thermal behaviour of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres. *Composites Science and Technology* 71, 246–254.
- Dicker, M. P., Duckworth, P. F., Baker, A. B., & Francois, G. (2014). Green composites: A review of material attributes and complementary applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 56, 280-289.
- Eichhorn, S., Baillie, C., Zafeiropoulos, N., Mwaikambo, L., Ansell, M., & Dufresne, A. (2001). Current international research into cellulosic fibres and composites. *J Mater Sci*, 2107–31.
- Faruk, O., Bledzki, K., Fink, P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science* 37, 1552– 1596.
- Fiore V. Valenza A. & Di Bella G. (2011). Artichoke (*Cynara cardunculus* L.) fibres as potential reinforcement of composite structures. *Composites Science and Technology* 71, 1138–1144.
- Fiore, V., Scalici, T., & Valenza, A. (2014). Characterization of a new natural fiber from *Arundo donax* L. as potential reinforcement of polymer composites. *Carbohydrate Polymers* 106, 77–83.
- Francucci, G., & Rodriguez, E. (2014). Processing of Plant Fiber Composites by Liquid Molding Techniques: An Overview. *Polymer Composites*, DOI 10.1002/pc.
- Gindl W. et al. (2006). Single fibre Characterisation of Viscose, Lyocell, Flax and Glass fibres. *European Conference on Composite Materials, Polymer*, 792.
- Girisha, & Srinivas. (2012). Sisal/coconut coir natural fibers-epoxy composites: water absorption and mechanical properties. *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 166–170.
- Gómez, S., Guzmán, R., & Ramón, B. (2016). Review, materiales compuestos reforzados con fibras de fique. *Universidad Pontificia Bolivariana*.
- Albarracín-Sánchez, D. M., Roa-Parra, A. L., Solano-Ortega, F., & Montañez-Acevedo, G. (2018). Producción de abono orgánico mediante el compostaje aerotérmico de residuos de poda. *Bistua*, 16 (1), 156-162. Recuperado de: <http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs>

- _viceinves/index.php/BISTUA/article/view/3203 (10) 2, 99-109.
- Haameem, J., Abdul Majid, M., Afendi, M., Marzuki, H., Fahmi, I., & Gibson, A. (2016). Mechanical properties of Napier grass fibre/polyestercomposites. *Composite Structures* 136, 1-10.
- Ho Mei-po et al. (2012). Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites: Part B* 43, 3549–3562.
- Hossain, M., Karim, M., Chowdhury, M., Imam, M., Hosur, M., Jeelani, S., & Farag, R. (2014). Comparative mechanical and thermal study of chemically treated and untreated single sugarcane fiber bundle. *Industrial Crops and Products* 58, 78-90.
- Indran, S., & Raj R.E. (2015). Characterization of new natural cellulosic fiber from *Cissus quadrangularis* stem. *Carbohydrate Polymers* 117, 392–399.
- Karnani R. Krishnan M. Narayan R. (1997). Biofiber-reinforced polypropylene composites. *Polym Eng Sci*, 476–82.
- Maache, M., Bezazi, A., Amroune, S., Scarpa, F., & Dufresne, A. (2017). Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Juncus effusus*L. *Carbohydrate Polymers* 171, 163–172.
- Maldas D. Kokta BV. Raj RG. Daneault C. (1988). Improvement of the mechanical properties of sawdust wood fibre-polystyrene composites by chemical treatment. *Polymer*, 1255–65.
- Mina, J. (2012). Caracterización físico-mecánica de un almidon termoplástico (TPS) de yuca y análisis interfacial con fibra de fique . *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*
- Miranda, Bica, Nachtigall, Rehman & Rosa. (2013). Kinetical thermal degradation study of maize straw and soybean hull celluloses by simultaneous DSC–TGA and MDSC techniques. *Thermochimica Acta* 565, 65– 71.
- Mohan Rao, K., & Mohana Rao, K. (2007). Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo. *Composite Structures* 77, 288–295.
- Mohanty, A., Misra, M., & Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromol Mater Eng*, 1–24.
- Mora, W., & Ramón B.A. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 41(161), 479-489.
- Mora. W.J., & Ramón. B.A. (2017). Biocompuesto de fibra natural de palma cumare (*Astrocaryum Chambira*) y resina bioepoxy, aplicaciones industriales. *Revista de la Asociación Española de materiales compuestos*, 28-34.
- Mukhtar, I., Leman, Z., Ishak, M., & Zainudin, E. (2018). Thermal and physicochemical properties of sugar palm fibre treated with borax. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 368 , 1-8.
- Parada Quinayá, D., & D’Almeida, J. (2018). Effect of surface treatments on the cross-section area and on the tensile properties of sisal fibers. *Journal of Natural Fibers.*, 1-8.

- Rodríguez, L., Fanguero, R., & Orrego, C. (2015). Efectos de tratamientos químicos y de plasma DBD en las propiedades de fibras del seudotallo de plátano. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*; 35 (2): , 295-304.
- Rong, M. Z., Zhang, M. Q., Liu, Y., Yang, G., & Zeng, H. (2001). The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 1437-1447.
- Saba, N., Jawaid, M., Alothman, O. Y., & Paridah, M. (2016). A review on dynamic mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites. *Construction and Building Materials* 106, 149–159.
- Sanjay, M., Madhu, P., Jawaid, M., Sentharamaiah, P., & Senthil, S. (2018). Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production* 172, 566e581.
- Saravanakumar, S., Kumaravel, A., Nagarajan, T., Sudhakar, P., & Baskaran, R. (2013). Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *Prosopis juliflora* bark. *Carbohydrate Polymers* 92, 1928–1933.
- Sarikanat, M., Seki, Y., Sever, K., & Durmuskahya, C. (2014). Determination of properties of *Althaea officinalis* L. (Marshmallow) fibres as a potential plant fibre in polymeric composite materials. *Composites: Part B* 57, 180–186.
- Sarip, H., Hossain, M., Azemi, M., & Karim Allaf, K. (2016). A Review of the Thermal Pretreatment of Lignocellulosic Biomass towards Glucose Production: Autohydrolysis with DIC Technology. *BioResources* 11(4), 1-29.
- Sydenstricker, T., Mochnaz, S., & Amico, S. (2003). Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites. *Polym Test*, 375–80.
- Tomczak, F., Sydenstricker, T., & Satyanarayana, K. G. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 1710–1721.
- Toriz, G., Denes, F., & Young, R. (2002). Lignin-polypropylene composites. Part 1: composites from unmodified lignin and polypropylene. *Polym Composite*, 806–811.
- Tran, L., Nguyen Minh, T., Fuentes, C., Truong Chi, T., Van Vuure, A., & Verpoest, I. (2015). Investigation of microstructure and tensile properties of porous natural coir fibre for use in composite materials. *Industrial Crops and Products* (65), 437-445.
- Wambua, P., Ivens, J., & Verpoest, I. (2003). Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, 59-64.
- Wang, H., Zhang, X., Jiang, Z., Li, W., & Yu, Y. (2015). A comparison study on the preparation of nanocellulose fibrils from fibers and parenchymal cells in bamboo (*Phyllostachys pubescens*).

Industrial Crops and Products 71, 80–88.

Yang H. Yan R. Chen H. Lee D. F. & Zheng C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel, 86,, 1781–1788.

Yao F., Wu Q., Lei Y., Guo W., Xu Y.,. (2008). Thermal Decomposition Kinetics of Natural Fibers: Activation Energy with Dynamic Thermogravimetric Analysis. Polymer Degradation and Stability, 93, 90-98.

Yusriah, L., Sapuan, S., Zainudin, E., & Mariatti, M. (2014). Characterization of physical, mechanical, thermal and morphological properties of agro-waste betel nut (Areca catechu) husk fibre. Journal of Cleaner Production 72, 174-180.

Libro:

Gordon C J. (2001). *Introduction fundamentals of fibre structure*. Cambridge. New Delhi: Elsevier.

Müssig, J., Fischer., Graupner, N., & Drieling, A. (2010). Testing Methods for Measuring Physical and Mechanical Fibre Properties (Plant and Animal Fibres). En J. Müssig, *Industrial Applications, Structure, Properties and Technical Applications* (pág. 537). Bremen, Germany: Wiley Series.

Pickering K et al. (2008). *Propierties and performance of natural-fibre composites*. Cornwall, england: Woodhead publishing.

Thygesen. (2006). *Properties of hemp fibre polymer composites- An optimisation*

of fibre properties using novel defibration methods and fibre characterisation. Denmark: Royal Veterinary and Agricultural University.

Tesis:

Mora, W. (2017). *Materiales biocompuestos reforzados con fibras naturales colombianas y matriz bioepoxy para aplicaciones en la industria automotriz*. (Tesis de maestría.) Universidad de Pamplona. Pamplona. Colombia.

*Para citar este artículo: Mora Espinosa W.J., Ramón Valencia B.A., Moreno Contreras G.C. Natural fibers as an alternative of reinforcement in composite materials. a review. Revista Bistua.2019. 17(2):60-72.

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas : Mora Espinosa W.J. Docente TCO. Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y arquitectura, Grupo de Investigación GIMUP. william.mora2@unipamplona.edu.co

Recibido: Septiembre 06 de 2018

Aceptado: Enero 22 de 2019

