

Aplicación de las Fibras Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa

Tapia Clotario*, Paredes Cecilia*, Simbaña Andrés**, Bermúdez Javier*
*Área de Materiales y Procesos de Transformación (Componente 6 – VLIR)
*Escuela Superior Politécnica del Litoral

Km 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil-Ecuador

** Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Av. Aurelio Espinosa Pólit. Cdla. La Victoria, Ibarra-Ecuador.

vtapia@espol.edu.ec, cparedes@espol.edu.ec, andres_sv@pucei.edu.ec, jbermude@espol.edu.ec

Resumen

Las fibras naturales vegetales están presentes en casi la totalidad del globo en diversas formas; existen plantaciones de manera natural, campos, ciénegas o plantaciones agrícolas específicamente cultivadas para este fin. Hasta mediados del siglo pasado las fibras naturales tuvieron aplicaciones en diferentes industrias pero el avance de polímeros sintéticos, por su bajo costo de fabricación principalmente, desplazaron a los productos de base natural rápidamente. En la actualidad los mismos países que iniciaron la primera y segunda revolución industrial están liderando la eco-amigable tercera revolución industrial, en la que los productos desarrollados por el hombre tengan un ciclo verdaderamente amigable con el planeta pero sin dejar de lado las exigencias tecnológicas que demanda el tercer milenio

Palabras Claves: *Fibras naturales, materiales compuestos, fibras verdes, bio-degradable, matriz polimérica, refuerzo, bio-compuestos, biomasa, poder calorífico, friabilidad.*

Abstract

The vegetal natural fibers exist worldwide in many different forms such as natural stands, fields, bogs or agricultural plantations specifically cultivated for this purpose. Until the second half of the twentieth century, natural fibers were used for applications in several enterprises, but this changed due to the advances in the field of synthetic polymers, especially because of the low costs of the synthesizing processes. Nowadays, the same countries that initiated the first and second industrial revolutions are leading the third one in a more eco-friendly way, involving products that do not underestimate the technological exigencies that demands this third millennium.

Key words: *Natural fibers, composite materials, green fibers, bio-degradable, polymeric matrix, reinforcement, bio-composites, biomass, calorific value, friability.*

1. Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad las fibras naturales han desarrollado un papel importante en el ámbito de la construcción, existen datos de la utilización de fibras de hojas y madera que se utilizaban como refuerzo de bloques compuestos con base arcillas [1] para la construcción de viviendas e incluso para soportar cargas moderadas.

Se están realizando diversos estudios alrededor del mundo sumando esfuerzos por conseguir materiales compuestos completamente bio-degradables, para así poder de alguna manera mitigar el daño ecológico que se ha venido dando al medio ambiente por la producción en masa de productos

sintéticos a lo largo de la segunda mitad del siglo pasado [2]. Es debido a este factor que la mirada de la comunidad científica se ha enfocado en el desarrollo de nuevos materiales amigables con el deteriorado ecosistema que hemos creado.

2. Clasificación y Definición de Parámetros

Existen numerosas clasificaciones de las fibras naturales en las que se incluyen a las fibras minerales y las provenientes de animales [3]; pero para el desarrollo de este trabajo nos centraremos en las llamadas fibras verdes o agro-fibras. La clasificación más general de estas se distribuye de la siguiente manera [4]:

- *Hierbas y cañas.* - fibras provenientes de tallos de plantas monocotiledóneas, por ejemplo: hierbas y paja de trigo, arroz, cebada, entre otras
- *Hojas.*- fibras que se encuentran a lo largo de hojas de plantas monocotiledóneas, por ejemplo: abacá, sisal, henequén, entre otras.
- *Tallos.*- provenientes de la corteza interna de plantas dicotiledóneas; por ejemplo: lino yute, cáñamo, kenaf, entre otras
- *Semillas e hiladuras de frutos.*- incluye y también las sedas; por ejemplo: algodón.
- *Fibras maderables.*- fibras de madera dura (angiospermas) y maderas suaves (gimnospermas); por ejemplo.- maple, eucalipto, pino.

La industria ha determinado procesos industriales para obtener fibras técnicamente aplicables de la materia prima. Existe una relación estrecha entre las condiciones de proceso, composición química y longitud de fibra técnica que se resumen en la Figura 1

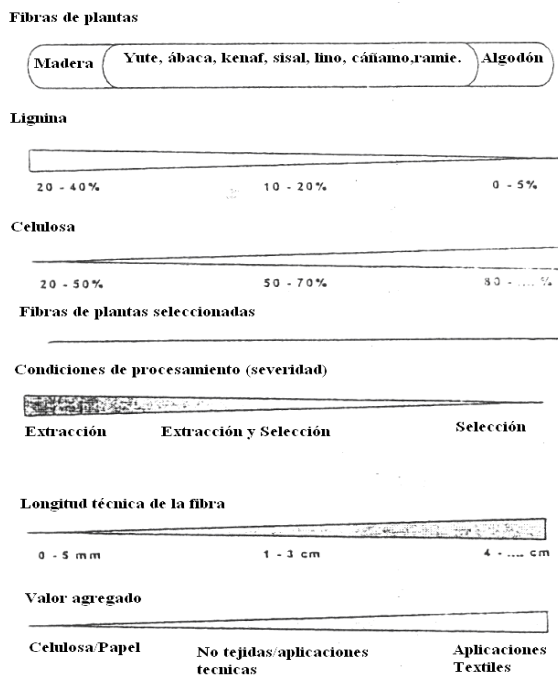


Figura 1. Clasificación de las fibras de Celulosa basado en la Materia Prima [5].

Todas estas fibras a lo largo de la historia han sido de utilidad de una u otra manera al hombre, pero con el avance en el desarrollo de los polímeros a partir de la segunda mitad del siglo pasado, estas fueron desplazadas transitoriamente de la esfera industrial; pero con la inminente escasez de petróleo en un futuro cercano y la creciente preocupación ambiental por parte de los países de primer mundo se

está reconsiderando la utilización de las agro-fibras como material de refuerzo en materiales compuestos debido a sus excelentes propiedades como:

- Son ambientalmente amigables tanto en el proceso, producción y como desecho al final del ciclo.
- Son renovables y se necesitan menor cantidad de energía de entrada por unidad de producción.
- Propiedades similares a aquellos materiales con refuerzo de fibra de vidrio.
- Mejor elasticidad.
- Son menos abrasivos durante el proceso de fabricación.
- Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido.
- 2 a 3 veces más barato que trabajar con fibra de vidrio.
- Si se requiere un compuesto 100% biodegradable se pueden mezclar con bio-polímeros como almidón, lignina, hemicelulosa, caucho.
- Cuando se queman los compuestos con fibras naturales hay menor producción de CO₂ y otros gases tóxicos.

Sin embargo, estos compuestos presentan también algunas desventajas:

- La calidad de las fibras es dependiente de las condiciones naturales.
- Se requieren grandes áreas de cultivo si se empieza una producción a escala.
- La baja densidad se vuelve una desventaja durante el proceso.
- La capacidad hidrofílica de las fibras naturales podría afectar las propiedades, dependiendo de la aplicación.
- El enlace entre los polímeros y las fibras naturales es débil.

3. Avances Desarrollados en Bio-Compuestos:

En lo que respecta a la fuerza de enlace entre la matriz y el refuerzo en estos materiales compuestos se está sumando esfuerzos para sobrellevar esta desventaja, debido a que este factor es clave en el desarrollo de estos materiales. Si no se consigue mejorar esto, la resistencia intrínseca de la fibra no puede ser transmitida a la matriz resultando esto en la falla prematura del compuesto desarrollado. Precisamente Rowel et al [5] ha profundizado el estudio de diversos métodos de modificación superficial de las fibras naturales para incrementar la

adhesión de estas fibras con la matriz polimérica, entre ellos la incorporación de agentes compatibilizadores, plasma frío, corona, tratamiento con ozono entre otros. Recientemente ha estudiado el efecto de tratamiento superficial de fibras de celulosa y polipropileno con ozono previo al mezclado de las fibras, demostrando un incremento en la adhesión de las fibras a la matriz. Con el uso de anhídrido maélico (MAN) se ha mejorado la dispersión de las fibras de kenaf así como también el porcentaje de absorción de agua, en matriz de polipropileno. Con un 0.5% en peso de MAN se incrementa significativamente el esfuerzo tensil y de flexión, la elongación a ruptura, y la resistencia al impacto, comparando con una muestra 100% polipropileno.

Geethamma et al [5] estudió el efecto de la longitud de las fibras de corteza de coco, su orientación y el tratamiento con hidróxido de sodio de estas fibras formando un compuesto con caucho. Concluyendo que las propiedades mecánicas en la dirección longitudinal de las fibras son mucho mayores que en sentido transversal, además que la longitud idónea para este fin es 10mm.

Prasad et al [5] ha estudiado el tratamiento con álcali de las fibras de coco para formar compuestos poliéster / coco. Concluyó que el tratamiento previene la flotación y segregación de las fibras en la matriz de poliéster. Se incrementa en un 15 % el esfuerzo tensil, 40 % el módulo de elasticidad y el 90 % la resistencia a la ruptura de la interfase, con un tratamiento en 5% (en volumen) de álcali.

Mattoso et al [6] ha desarrollado avances en Brasil en la utilización del sisal como refuerzo en materiales compuestos. Ha realizado exitosas modificaciones superficiales sobre la superficie polar del sisal, a través de la benzatilización, promoviendo la compatibilización con la matriz no-polar del polímero, además de disminuir la absorción del agua.

Es importante destacar el impulso que ha dado la multinacional Daimler Benz en conjunto con la UNICEF, a través del programa Poverty and Environment in Amazonia desarrollado en Brasil promoviendo la aplicación de bio-compuestos en la elaboración de sus vehículos Clase E y camiones Clase A [7]. Lo más destacable de este esfuerzo es que se comprobó la factibilidad de la utilización de los recursos naturales para fines no tradicionales o artesanales, haciendo de la zona de Pará una zona económicamente activa con el consecuente beneficio para sus pobladores. Todo esto se desarrolló en perfecta armonía con el medio ambiente y sin dejar de lado la calidad requerida para los productos Mercedes Benz.

El programa comunitario POEMAR [8] propuso a Mercedes Benz la investigación de fibras naturales como sustituto de fibras sintéticas tradicionales.

Luego de tres años de investigación se empezó un plan piloto con la fabricación de apoyacabezas a base de coco y pronto recibió incentivos tecnológicos por parte de Daimler Benz para aumentar la producción de estos y por consiguiente se aseguró la producción de las zonas agrícolas de la Amazonía involucradas en el proyecto..

Mercedes Benz ha utilizado yute y algodón desde hace 15 años en la parte interior de sus vehículos. En la actualidad se encuentran en el desarrollo de investigaciones para reducir la utilización de fibras sintéticas en sus vehículos.

También se han desarrollado compuestos con características técnicas, utilizándolos en los paneles de las puertas, en los pilares estructurales de la cabina, como parte de los asientos, parachoques, apoyacabeza, entre otras aplicaciones.[9] Así como también han aprovechado sus características como aislante acústico y la virtud de no astillarse en caso de impacto directo en el interior de sus vehículos.

La más exitosa tecnología usada para estos fines ha sido el moldeo por compresión [10] con fibras como lino, sisal, algodón y una mezcla de lino / algodón; utilizando diversas matrices como polipropileno(termo plástico), epóxico, poliuretano y resinas fenólicas (termofijas), dependiendo de la aplicación.

Por otro lado, hace algunos años se han utilizado los residuos de diversas industrias en la elaboración de tableros aglomerados entre ellos el bagazo de caña, hojuelas de kenaf, cáñamo, tallos de yute, sisal, ramie, kenaf, palma africana, nueces y cascarilla de arroz. Estos son aplicados también en tableros retardantes de fuego, MDF, tableros aislantes, entre otros.

En el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), se han desarrollado varias técnicas para la utilización del excedente de bagazo de caña en ese país, siendo la industria azucarera una de las más grandes de este país. Gómez et al [10] describe un procedimiento para la elaboración de estos tableros; la técnica consiste en elaborar un tablero constituido por tres capas con la diferencia de que las partículas de las capas exteriores son más pequeñas que la interior, además esta última tiene un espesor más grande. El agente inorgánico que se usa como aglutinante depende de la utilización final del tablero, por ejemplo si es para interiores se utiliza urea-formaldehído, mientras que resinas fenólicas son usadas cuando la humedad es un factor determinante. También describe la utilización del bagazo de caña en matrices de cemento y yeso teniendo alentadores resultados.

En México, Juárez et al [11] experimentó la aplicación de lechuguilla como refuerzo de compuestos en base de cemento, obteniendo buenos resultados en lo concerniente a las pruebas a flexión.

Para reducir el efecto de la matriz alcalina y además contrarrestar la cualidad hidrofílica de las fibras, propuso aislar las fibras con diversos compuestos químicos, obteniendo los mejores resultados con parafina. Como parte de esta investigación concluyó que es preferible tener una matriz densa en cemento, una relación agua a cemento alrededor de 0.35, incrementando la resistencia a la flexión. Paralelamente Mayorga et al [12] realizó un estudio comparativo entre la calidad de la fibra de lechuguilla si se la procesa mecánicamente y la tradicional extracción manual; llegando a la conclusión de que la obtención mecánica no disminuye las propiedades mecánicas finales pero se produce una pigmentación excesiva debido al jugo que se produce durante la extracción, además del hecho de que se adhiere bagazo en la fibra final, por lo que un proceso de limpieza final es requerido.

4. Biomasa como fuente de Energía

Hasta mediados del siglo pasado la utilización de biomasa como combustible para calefacción de hogares y otros fines en Europa era bastante generalizado. Fue a partir del boom petrolero y la invasión del mercado de productos y artefactos diseñados específicamente para ser usados con este combustible, que la biomasa fue dejada a un lado. A partir de la crisis petrolera del 1974 la comunidad científica volvió la cara a la biomasa como fuente natural de energía.

En general, la Figura 2 [13] presenta un resumen de la clasificación de biocombustible basado en la relación con la actividad forestal, agrícola o municipal.

En relación con la producción, oferta	Grupos comunes	En relación con los usuarios, ejemplos de demanda
<ul style="list-style-type: none"> Combustibles de madera directos Combustibles de madera indirectos Combustibles de madera recuperados Combustibles derivados de la madera 	COMBUSTIBLES DE MADERA	<ul style="list-style-type: none"> Sólidos: Leña (madera en bruto, astillas, serrín y pellets), carbón vegetal Líquidos: Licor negro, metanol y aceite pirrolítico Gases: Productos procedentes de la gasificación y la pirólisis, gases de los combustibles mencionados supra
<ul style="list-style-type: none"> Cultivos usados como combustible Subproductos agrícolas Subproductos de origen animal Subproductos agroindustriales 	AGRO-COMBUSTIBLES	<ul style="list-style-type: none"> Sólidos: Paja, tallos, cáscaras, bagazo y carbón vegetal de los combustibles mencionados supra Líquidos: Etanol, aceite vegetal en bruto, aceite "diester", metanol y aceite pirrolítico Gases: Biogás, productos procedentes de la gasificación y la pirólisis de agrocombustibles
<ul style="list-style-type: none"> Subproductos de origen municipal 	SUBPRODUCTOS DE ORIGEN MUNICIPAL	<ul style="list-style-type: none"> Sólidos: Residuos sólidos de origen municipal (RSM) Líquidos: Fango de aguas residuales, aceite pirrolítico o de RSM Gases: Gas procedente de vertederos, gas procedente de tratamiento de fangos cloacales

Figura 2. Clasificación de los Bio-combustibles [13]

España presenta diversos estudios energéticos como uso de la biomasa. Marcos y Núñez [14] presentaron datos en los que se destacaba el poder calorífico de biomasa forestal considerada desperdicio. Destaca la importancia de retomar el uso de biomasa como combustible, debido principalmente a los elevados costos de los combustibles fósiles en ese país y Europa en general. A pesar de los alentadores resultados obtenidos en laboratorio, existen dificultades e inconvenientes para la aplicación a gran escala de este tipo de proyectos: falta de inventarios estatales de biomasa, dificultad en determinar los costes de saca de la biomasa, el problema de gestionar en periodos cortos de tiempo (4 años por mandato electoral) ecosistemas amplios como los forestales, bibliografía imprecisa e inexacta de trabajos presentados en años anteriores.

Marcos y Relova [15] realizaron estudios en lo que respecta a la peletización de residuos agrícolas como cebada, trigo y avena para aplicaciones en los hogares españoles, tanto en cocinas diseñadas especialmente para funcionar con estos pelets como combustible, así como también en calefacción durante el invierno. Los fabricados de cebada presentaron las mejores propiedades en cuanto a friabilidad y poder calorífico.

Al ser los pelets un producto densificado presentan el beneficio de ahorro en los costos de transporte y almacenaje. Además de la facilidad de poder ser comercializado, si el caso lo amerita.

Otra opción para la densificación de la biomasa es la compactación en briquetas. Un producto de biomasa densificado se considera pelet si su diámetro es inferior a 2.5 cm., de lo contrario sería una briketa; además las briquetas no siempre tienen la forma de un cilindro. Otra diferencia importante es el grado de compactación, el pelet es mucho más compacto y uniforme (superior a 1Kg/dm³).

Ni la madera ni los desechos agrícolas, como aserrín y cáscaras de café, pueden quemarse directamente en estufas domésticas. Tales materiales arden con dificultad, producen mucho humo y no son apropiados para cocinar. Lo mismo puede decirse del polvo de carbón vegetal [16]. Estas desventajas se pueden superar compactando estos residuos en briquetas. Existe la posibilidad de hacer esta compactación con aglutinante o sin él. Los mejores resultados se obtienen al obtener una mezcla adecuada de aglutinante, pero existe la inferencia del costo al agregarlo al producto final. Lo adecuado es encontrar el equilibrio adecuado para que los costos no sean contraproducentes.

Existe además de la necesidad del secado previo; ya que, el poder calorífico de la biomasa depende

fuertemente del contenido de humedad de la misma. Los valores caloríficos varían muchísimo entre biomasa de similares características pero con diferentes contenidos de humedad. El contenido de humedad es clave durante todo el ciclo de la biomasa, si el objetivo final es el de obtención energética

Los métodos de fabricación de briquetas más apropiados para las poblaciones rurales son los que se basan en los desechos y materiales de construcción disponibles. La fabricación debería realizarse en prensas manuales hechas en el lugar. La briqueta hecha a mano se mantiene unida sobre todo gracias al material aglutinante. Según las disponibilidades locales, los combustibles orgánicos más apropiados para servir de aglutinantes son la resina, el alquitrán, el estiércol animal, el fango de alcantarillado y los desechos de pescado.

Si no se dispone de aglutinantes combustibles o si los desechos necesitan un material aglutinante más fuerte, como en el caso del polvo de carbón vegetal, es necesario utilizar aglutinantes no combustibles como el limo, la arcilla o el barro. Aunque el aglutinante no combustible disminuye el valor calorífico de la briqueta y aumenta el contenido de cenizas, proporciona un combustible que de otra manera no podría aprovecharse.

Tabla 1. Comparación de biocombustibles de muestra [15].

Composición	Valor calorífico bruto	Humedad	Cenizas	Valor calorífico neto	Observación
	kcal/kg	Porcentaje	%	kcal/kg	
Madera seca de haya	4554	8,0	0,3	4224	Tipo de madera que casi nunca se encuentra en las zonas rurales pobres
Madera verde de abedul	3 308	42,9	0,25	2 889	Tipo de madera que se encuentra en las zonas rurales pobres de los países en desarrollo
Bolas de papel de desecho(de periódicos mojados)	4 143	6,9	2,9	8325	Hechas a mano arden mejor si se añade ceniza de madera
Briquetas hechas de: 30-45% de polvo de carbón vegetal 30-45% de ramas cortadas 15-20% de estiércol	4 626	2,4	32,2	4 408	Comparables a la antracita de calidad media; elevado contenido de cenizas probablemente debidas a la arena del suelo
Briquetas hechas de: 25% de carbón vegetal 25% de paja 30% de ramas cortadas 20% de estiércol	3 397	7,2	13,7	3 109	El menor porcentaje de polvo de carbón vegetal reduce la producción calorífica

Briquetas hechas de: 50% de paja 50% de estiércol de vaca	3 898	5,4	9,5	3 599	Se pueden producir en cualquier lugar, pero con ele vado contenido de estiércol; éste se puede utilizar mejor como fertilizante
Briquetas hechas de: 40% de paja 40% de serrín 20% de estiércol	3561	9,2	14,0	3266	Necesita un secado esmerado a causa del serrín
Briquetas hechas de: polvo de carbón vegetal con arcilla de aglutinante	1 064		73,0	975	El elevado contenido mineral disminuye el valor calorífico y produce mucha ceniza

Existen otras opciones para que la biomasa sea utilizada como energía. La fermentación bacteriana para la producción de alcohol, el cual además de ser un excelente combustible, por ser líquido es de fácil transportar. La digestión anaeróbica para producción de metanol es otra opción aunque la inversión inicial es bastante más alta.

Cuando los desechos de biomasa son combustionados con un déficit de oxígeno se producen gas, productos líquidos, además de carbón y cenizas. Estos fenómenos se los conoce respectivamente como gasificación, pirolisis y carbonización. Todos estos productos tienen aplicaciones considerables; el problema radica en que se debe de empezar con proyectos grandes para que sean rentables estos procesos. [17].

En la ciudad de Campeni, condado de Alba, Rumania [18] se sustituyó dos calderas de gasóleo por dos calderas de biomasa, para calefacción de un barrio. Campeni cuenta con abundantes residuos forestales-alrededor de 54 ton/año, que en su mayoría eran echados al río Aries comprometiendo el ecosistema de esta cuenca.

Los resultados obtenidos son positivos:

- Reducción de 1000 ton/año de de emisiones de CO2, liberados por la combustión de gasóleo.
- Reducción de 14.5 ton/año de emisiones SO2.
- Utilización de 2345 ton de residuos al año.

Así mismo en Mos, España,[19] se ha instalado una planta de paletizado anexa a una fábrica de molduras y parquets. El objetivo de esta es la utilización de alrededor de 58 Ton de serrines y virtas **diarios** que son el desperdicio de la industria, para la producción de pellets para comercialización. Debido a los altos costos de combustibles fósiles en Europa, las población está volviendo a la utilización de biomasa como fuente de energía a tal punto que productos densificados de biomasa están siendo importados de Canadá, por la alta demanda. Con esta adecuación la fábrica maderera incluso ha

aumentado sus ingresos; ya que los beneficios de la venta de sus desperdicios transformados en pelets es muy superior a los réditos anteriores, cuando se los vendía como desperdicios para la fabricación de tableros aglomerados.

En la actualidad en el Área de Materiales y Procesos de Transformación de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP-ESPOL), con el apoyo del Componente 6 del Programa VLIR-ESPOL se está desarrollando el proyecto *Desarrollo de Tecnologías Sustentables para la Utilización de Fibras Naturales para la Aplicación en Materiales de Construcción*. Como su nombre lo indica, este proyecto busca la utilización tecnológica de diversas fibras como abacá, palma africana, corteza de coco, tagua, cascarilla de arroz, entre otras. Una parte fundamental de este proyecto consiste en el estudio diversos residuos de industrias como combustibles alternativos. Este estudio se enfoca en el bagazo de caña pero sin dejar de lado a la palma africana o la cascarilla de arroz que han demostrado un poder calorífico considerable y cuya aplicación en la actualidad es casi nulo.

Otro punto de este proyecto es la elaboración de un prototipo de bio-compuesto, para lo cual se está investigando las propiedades y composición química de diversas fibras naturales, además de la compatibilidad de estas fibras con el compuesto polimérico que servirá de matriz o en el caso de aglomerado, el aglutinante.

5. Conclusiones:

1. Son innegables los avances en investigación y desarrollo en el campo de las fibras verdes. Estos estudios podrían parar en algún grado la deforestación de bosques y el no uso de los desechos bio-degradables con la consiguiente degradación ambiental.
2. Si se trabaja de manera ordenada en un programa de desarrollo de cultivos de estas fibras, se podría parar el éxodo rural dándole valor agregado a estas fibras y por ende mejorar los precios y aumentar el nivel de vida del agricultor en nuestro país. Existe ya un caso exitoso en la región de Pará, Brasil y las aplicaciones técnicas que se han logrado han llevado nuevos ingresos a una zona que hasta hace poco era una de las más pobres de la amazonía brasileña.
3. Las fibras verdes están presentes en un amplio espectro en el mundo de hoy. Por sus características pueden ser mezcladas con fibras sintéticas y usarlas en diversas aplicaciones como aglomerados, compuestos de cemento, yeso, etc. Asimismo tienen buenos usos en la industria, agricultura, construcción.
4. Por la diversidad de clima y ecosistemas presentes en nuestro país, una gran diversidad de estas fibras tecnológicas podrían ser producidas en gran escala en Ecuador reactivando el agro. Esto sumado a la aplicación de tecnologías existentes y promoviendo avances en la investigación de nuevos bio-compuestos se promoverían nuevas industrias competitivas.
5. En nuestro país padecemos de deficiencias energéticas en periodo de estiaje. Son bien conocidas las técnicas para obtener energía térmica, a partir de biomasa, que posteriormente puede ser transformada en energía eléctrica de manera eficiente. Tenemos a mano entonces parte de la solución al problema energético de nuestro país, pero hace falta políticas estatales que promuevan el desarrollo de minicentrales a base de biomasa.
6. En la actualidad los tres mayores ingenios azucareros del país, San Carlos, Valdez y LA Troncal, están produciendo energía eléctrica a partir del bagazo de caña. Los ingenios producirán alrededor de 53.6 MW y el excedente será vendido al Mercado Eléctrico Mayorista. Siendo el mayor el Ingenio San Carlos que ha invertido alrededor de \$10 millones en nuevos turbogeneradores. Estos ejemplos de aprovechamiento de los recursos deberían ser adaptados por otras industrias en nuestro país, con el respectivo incentivo por parte del Gobierno Nacional.

6. Referencias

- [1] Gatenholm P., *Interfacial Adhesion and Dispersion in Biobased Composites. Molecular Interactions Between Cellulose and Other Polymers*, Technical Report, Chalmers University, Suecia, 1997
- [2] Suluaga F Ph.D., *El plástico Condensado a No Desaparecer*, Revista Ciencia al Día, Universidad del Valle, Colombia, 1999.
- [3] Simbaña A, *Fibras Naturales. Alternativa para el Desarrollo Nacional*, Publicación, www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/fibras_naturales_alternativa.pdf, 2000.
- [4] Raymond A. Young, Alcides Leao, Francisco Carvalho, Elisabete Frollini *Lignocellulosic – Plastic Composites, Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications.*, 1997
- [5] Roger M. Rowel, Anand R. Sanadi, Daniel F. Caulfield, Rodney E. Jacobson. *Utilization of*

- Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities*. Forest Products Laboratory, 1998.
- [6] Luiz Mattoso, Fabio C. Ferreira and Antonio A.S: Curvello. *Sisal Fiber: Morphology and Applications in Polymer Composites*. Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Instrumentacao Agropecuária, 1996.
- [7] Cadena Productiva Sostenible de la Fibra de Coco.
Internet. www.corpei.org/FRAMECENTER.ASP?OPCION=8_fibra_coco.
- [8] Juliana Menucci. *Gestión innovadora de una cadena de suministros en la Cuenca Amazónica*. www.iaf.gov/grants/downloads/poemar_spn.pdf. pdf. 2002.
- [9] R.W. Kessler, R. Kohler, K. Nebel and M. Tubach. *Natural Fibers. Special Jubilee Edition 2000. Perspectives of Fibers In High Level Applications For The New Century. Publikacja dofinansowana przez Komitet Badán Naukowych*. 2000.
- [10] A. Gomez, L. Gálvez and O. De la Osa. *Sugar Cane Bagasse. Utilization for Production of Composites. The State of the Art in Cuba*, ICIDCA, 1997.
- [11] César Juárez, Pedro Vádez, Alejandro Durán. *Fibras Naturales de Leghuguilla como Refuerzo en Materiales de Construcción*, Revista Ingeniería de la Construcción, Vol.19, N°2. Agosto-2004.
- [12] Elesban Mayorga-Hernández, Dietmar Russel-Kipping, Hipólito Ortiz-Laurel. *Análisis Comparativo en la Calidad de Fibra de Agave Lechuguilla, Procesada Manual y Mecánicamente*. Revista Agrociencia N° 38, marzo 2003
- [13] Deposito de Documentos de la FAO, *Guía para Encuestas de Demanda, Oferta y Abastecimiento de Combustibles de Madera*. Departamento de Montes www.fao.org/DOCREP/005/Y3779S/y3779s12.htm
- [14] Marcos Francisco, Nuñez Ángel. *Biomasa Forestal: fuente energética*. www.energuia.com/es/. Marzo 2006.
- [15] Marcos Francisco, Relova Iván. *Estudio de Pelets de Paja de Cereales para Generar Calor en Usos Domésticos*. Universidad Politécnica de Madrid. 2004.
- [16] Jacek Janczak. *Técnicas simples para la obtención de combustibles básicos*. Depósito de Documentos de la FAO. Departamento de Montes.
- [17] Mac Cosgrove-Davies. *Understanding Briquetting.. Volunteers in Technical Assistance – VITA*, 1985.
- [18] *Uso de Residuos de Madera para Calefacción de Barrio -Ciudad de Campeni, Condado de Alba –Romania*. www.energie-cities.org/db/campeni_569_es.pdf. 2004
- [19] Vila Lameiro & Díaz-Maroto Hidalgo. *Diseño de una Planta de Tratamiento de Biomasa para Producción de Energía* Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior de Lugo.

