

Utilización de desechos agroindustriales fibrosos en Costa Rica

J.R. Gutiérrez Herrera¹, I.M. Carpio Malavassi¹ y L.M. Alpízar¹

Laboratorio de Productos Forestales, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, INII, Universidad de Costa Rica. C.P.2060 Costa Rica.

Abstract: Ultrastructural analysis and chemical composition study of fibers get of agroindustrial wastes gives information about their characteristics for paper manufacturing. Most of the vegetable fibers have more quantity of lignin and total extracts than wood fibers; on the other hand, they also contain less holocellulose. The excellent properties for paper manufacturing, the possibility of a maximum utilization of our resources and the increase in the commercialization alternatives, justify each research in order to know about them in a better way. *Furcraea cabuya* (Cabuya); *Ananas comosus* (Piña); *Dracaena massangeana* (Caña India); *Yucca elephantipes* (Itabo); *Bactris gassipaes* (Pejibaye) and *Elaeis guineensis* (Palma Africana) are some of the fibers have been studied in the Forest Products Laboratory of the University of Costa Rica.

Key words: paper, pulp, fibers, now-wood, pulping, chemical composition, anatomy.

En Costa Rica existe una gran cantidad de plantas herbáceas, las cuales pueden proveer fibras vegetales para uso industrial. En los últimos cinco años el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Costa Rica, ha desarrollado investigaciones con el objetivo principal de buscar alternativas para el uso de desechos fibrosos agroindustriales. Entre las fibras estudiadas se pueden citar: *Ananas comosus* (Piña), *Furcraea cabuya* (cabuya), *Elaeis guineensis* (Palma africana), *Yucca elephantipes* (Itabo), *Bactris gassipaes* (Pejibaye) y *Dracaena massangeana* (Caña India).

Actualmente, las actividades agroindustriales de exportación, generan gran cantidad de material de desecho, constituido en gran parte por fibras vegetales (Corbana 1993). Tal es el caso de la actividad bananera, que genera 225 000 toneladas, base húmeda, de fibra por año como subproducto (Sánchez 1993). Una solución para el manejo de estos subproductos es su empleo en la elaboración de pulpa para papel, sin tener que importar materia prima de alto costo (Valladares 1986). Además, cabe mencionar, el uso de las fibras de desecho agroindus-

trial como fuente de materia prima en la elaboración de materiales para la construcción: paredes divisorias, cielo raso, láminas para baño, y ventanas. Estos productos resultan ser de bajo costo y por ende, más asequibles a una mayor parte de la población (Muñoz 1992). La Fig. 1, muestra las fibras del desecho de una planta productora de papel tissue mezcladas con cal y cemento. Igualmente se aprecia un aglomerado formado por fibras de desecho, el cual es utilizado en la fabricación de muebles y estantería. (Fig. 2).

Cuando se desea conocer la aptitud de las fibras maderables y las provenientes de especies herbáceas, se realiza primero un análisis químico, anatómico y ultraestructural, logrando obtener un panorama certero de su potencial para la fabricación de pulpa para papel.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras de material de desecho provienen de plantas procesadoras de varias zonas del país entre las cuales se citan las provincias de Heredia, Alajuela, Puntarenas y San José.



Fig. 1. Mezcla de cemento, cal y fibras, producto de desecho industrial para formar paneles divisorios (76x)
 Fig. 2. Aglomerado formado de varias capas de fibras provenientes de material reciclado (38x)

Las fibras sometidas al estudio, corresponden a desechos de plantas herbáceas, utilizando las hojas, tallos o brotes. El material se maceró en una solución compuesta de ácido nítrico y dicromato de sodio al 10% 1:1 (solución Jeffry). Posteriormente se calentó a una temperatura de 40 °C. El tiempo de remojo en la solución varió de acuerdo al tipo de material utilizado. Cuando las fibras se disociaron, se lavaron con agua para eliminar otros tejidos; una parte se tiñó con safranina al 2% en alcohol de 50% p/p, para ser medidas en un microscopio óptico de tipo trinocular. Las fibras se midieron en su longitud, diámetro tangencial, grosor del lumen y grosor de la pared.

Para conocer la ultraestructura de las fibras, éstas se secaron y se montaron en una base de aluminio, se recubrieron con un espesor de 20 nm de platino y se observaron al microscopio electrónico de barrido.

Para realizar los análisis químicos, las muestras fueron trituradas en un molino de martillos, hasta reducirlas a serrín; posteriormente se secó al horno a 60 °C. Del serrín seco se obtiene para los análisis químicos aquella fracción que pasa por la malla mesh #40.

La determinación de la composición química se basó en procedimientos expuestos en las normas de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel (TAPPI, siglas en inglés).

La preparación de las muestras para realizar los pulpeos dependió de la sección a utilizar de la planta. Si el material provino de hojas, éstas se cortaron en tamaños de aproximadamente 3 cm. Si se utilizó parte del tallo, la muestra se pasó por el molino sin utilizar malla alguna. Se estableció una proporción de relación de sólido-líquido (relación de baño), de 1:10 a 1:20, según la densidad de la fibra.

A continuación se definen los parámetros y las variables de diseño para cada tipo de pulpeo.

-Pulpeo Semiquímico:

Parámetros: relación de baño y presión.

Variables de diseño: temperatura de cocción, tiempo de cocción y concentración de químico.

-Pulpeo Termomecánico:

Parámetros: relación de baño y presión.

Variables de diseño: temperatura de cocción y tiempo de cocción.

-Pulpeo Mecánico:

Parámetros: relación de baño.

Variables de diseño: grado de refinó.

Las propiedades mecánicas de las pulpas analizadas, se valoran según las variables respuesta: Longitud de Ruptura, Índice de Tensión, Índice de Explosión e Índice de Rasgado.

RESULTADOS Y DISCUSION

El cuadro 1, muestra las características más relevantes de las fibras provenientes de los desechos agroindustriales analizados. Se observa que todas las especies utilizadas poseen fibras apropiadas para la fabricación de algún tipo de papel. De acuerdo con su longitud, las fibras de Pejibaye y Piña se clasifican como medianas y el Itabo, Caña India y Cabuya como largas. Las características de flexibilidad y de unión fibra-fibra en la formación del papel, en todos los casos, son buenas.

En las Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5, se muestran detalles ultraestructurales de fibras de las especies *D. massangeana* y *Y. elephantipes*. Entre los usos recomendados para las fibras vegetales, se distingue la utilización para fabricar pa-

pel, la Fig. 6, brinda la trama entre fibras y la posición que toman cuando se forma una lámina de este material.

Las características de los productos finales (papeles y cartones), dependen de las propiedades de la pulpa empleada en su manufactura y variarán de acuerdo con el tipo de fibra utilizada, ya sea que éstas provengan de especies maderables o de plantas no leñosas, así como del proceso seleccionado para la obtención de la pulpa.

El estudio de la composición química de una fibra determinada, da un panorama general para sus posibles usos, pero sobre todo, de las condiciones de pulpeo que ésta requerirá.

En el cuadro 2 se resumen los resultados de la composición química obtenida para la Corona de la Piña, su gran cantidad de cenizas indica que no es recomendable trabajarla en procesos mecánicos de producción de pulpa (Blanco 1992).

Las fibras estudiadas muestran contenidos considerables de extractivos; por consiguiente, se recomienda utilizar tratamientos alcalinos para el proceso de pulpeo, para así eliminar en su mayor parte las grasas, ceras y resinas (Blanco 1993).

Las pulpas de alto valor comercial con buenas propiedades para la fabricación de papeles requieren bajo contenido de lignina; por lo tanto para, las fibras de Itabo y Caña India deben

CUADRO 1

Características de las fibras estudiadas para la fabricación de pulpa para papel

Especie	<i>Bactris gassipaes</i> (Pejibaye)		<i>Yuca elephantipes</i> (Itabo)	<i>Dracaena massangeana</i> (Caña India)	<i>Ananas comosus</i> (Piña)	<i>Furcraea cabuya</i> (Cabuya)
<i>Ananas comosus</i> (Piña)						
<i>Furcraea cabuya</i> (Cabuya)						
Sección utilizada	Hoja	Tallo	Tallo	Tallo	Corona	Hoja
Factor Runkel	1.3	1.3	1.8	1.5	0.67	1.1
Calidad de la fibra, de acuerdo a F. Runkel	Regular	Regular	Regular	Regular	Buena	Buena
Longitud (µm)	1604	1519	2496	2287	1796	2023
Clasificación de la fibra según su longitud	Mediana	Mediana	Larga	Larga	Mediana	Larga
Coefficiente de flexibilidad	155	98	78	59	213	143
Comportamiento de la fibra en la formación de la hoja, de acuerdo al Coeficiente	Buenas características de: superficie de contacto, unión fibra-fibra y sección transversal elíptica					

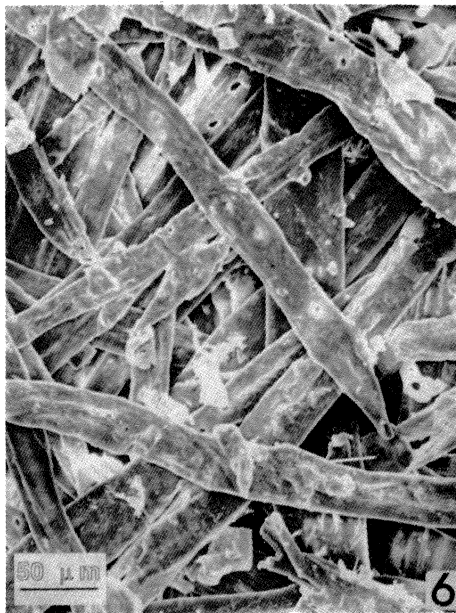
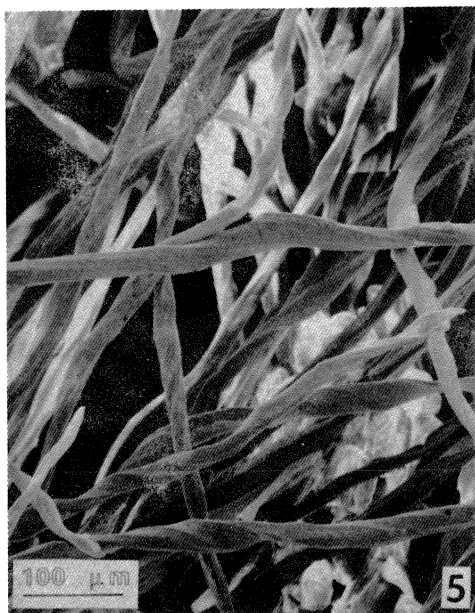
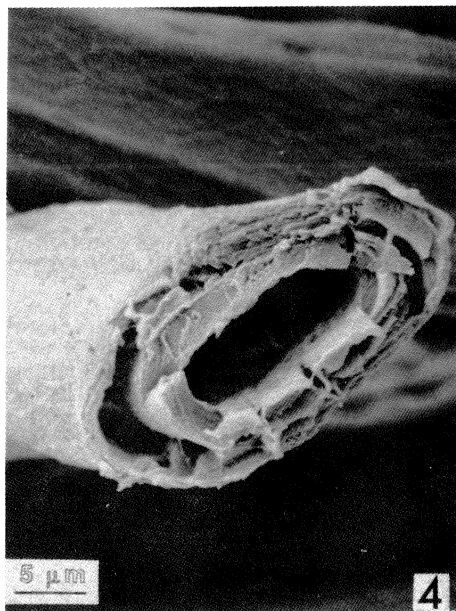


Fig. 3. Fibra fracturada del tallo de *Dracaena massangeana* (3129x)

Fig. 4. Corte transversal de la fibra de *D. massangeana* (2500x)

Fig. 5. Fibras libres del tallo de *Yucca elephantipes* (180x)

Fig. 6. Detalle de las fibras formando una lámina de papel (276x)

CUADRO 2

Composición química de los desechos agroindustriales analizados

Composición (% p/p base seca)	<i>Ananas comosus</i> (Piña)		<i>Yucca elephantipes</i> (Itabo)		<i>Dracaena massangeana</i> (Caña India)		<i>Furcraea cabuya</i> (cabuya)	
	Valor Medio	SD	Valor Medio	SD	Valor Medio	SD	Valor Medio	SD
Cenizas	7.7	0.1	3.4	0.1	2.20	0.05	3.0	0.1
Lignina	9.4	1.1	19.6	1.3	25.8	0.5	6.2	0.5
Extractivos totales	39.1	1.0	22.5	1.2	24.9	0.8	23.1	0.7
Holocelulosa	43.8	-	54.5	-	47.1	-	67.7	-
Humedad verde (base húmeda)	87.8	-	83	-	62	-	-	-
Humedad verde (base seca)	723	-	423	-	166	-	-	-

S.D. Desviación estándar

ser sometidas a métodos de pulpeo que permitan su eliminación en grado sumo, sin provocar una degradación significativa de la cantidad de celulosa (Alpízar 1993).

Es importante destacar que las fibras vegetales provenientes de plantas herbáceas (monocotiledóneas), contienen gran cantidad de agua, si se las compara con las fibras de especies maderables. Como los datos reportados se calculan en porcentaje base seca, se suministrarán también los valores de humedad verde, que serán de gran relevancia en futuros estudios de factibilidad económica.

En general, para una misma materia prima, las propiedades de la pulpa mecánica son más bajas que las de la pulpa termomecánica, y éstas a su vez, inferiores a las de la pulpa semiquímica.

Como variables respuesta de los ensayos de pulpeo se obtienen las propiedades mecánicas de las pulpas. Por lo general, dichos valores se reportan como índices, que se obtienen dividiendo la fuerza respectiva por el gramaje. En el cuadro 3, se reportan los mejores valores obtenidos, con sus respectivas condiciones de pulpeo para la Cabuya y el Pejibaye.

El Cuadro 4 resume las mejores propiedades mecánicas obtenidas y sus variaciones depen-

diendo de los diferentes métodos de pulpeo a los que se sometió la Palma Africana.

Al comparar el factor de explosión y de rasgado de la pulpa semiquímica de la Palma Africana, con los factores de la pulpa termomecánica, se observa que son mayores en un 17% y en un 9%, respectivamente; mientras que la longitud de ruptura es igual para ambos tipos de pulpa. En otras palabras, estos dos tratamientos producen pulpas con propiedades mecánicas similares y para elegir entre ellos, hay que considerar factores de rendimiento y de costos de producción (Blanco 1993).

La pulpa mecánica de la Palma Africana proporciona valores de propiedades mecánicas muy inferiores con relación a la pulpa termomecánica y a la pulpa semiquímica. Los procesos que involucran tratamientos químicos y temperaturas altas, permiten obtener pulpas con un bajo nivel de lignina.

De las especies estudiadas, la pulpa químico-mecánica de la Cabuya es la que presenta mejores propiedades mecánicas. Los valores de longitud de ruptura, índice de explosión e índice de rasgado obtenidos son cercanos a los que poseen las pulpas al sulfato -pulpas Kraft- de especies maderables de alta densidad (Blanco 1993).

CUADRO 3

Propiedades físicas y mecánicas de las pulpas de Pejibaye y Cabuya

Propiedad medida a una temperatura de 17 °C y una humedad relativa de 65%	Desecho agroindustrial			
	<i>Bactris gassipaes</i> (Pejibaye) Pulpeo Mecánico		<i>Furcraea cabuya</i> (Cabuya) Pulpeo químico-mecánico Na ₂ CO ₃ 5%, Temp. 70 °C	
	Valor Medio	Desviación Estándar	Valor Medio	Desviación Estándar
Características físicas				
Rendimiento de Cocción (%)	-	-	69.5	1.5
Freeness CSF (ml)	260	-	283	-
Gramaje (g/m ²)	72.6	0.2	80.1	0.3
Humedad [base seca] (%)	12.4	0.1	8.5	0.1
Espesor promedio (µm)	201	6	115	3.2
Densidad Aparente (kg/m ³)	413	-	772	-
Características mecánicas				
Longitud de Ruptura (m)	1225	115	5831	123
Índice de Tensión (N m/g)	12.0	0.1	57.4	1.6
Índice de Explosión (kPa m ²)	0.217	0.005	4.454	0.102
Índice de Rasgado (mN m ² /g)	1.3	0.2	21.1	0.8

CUADRO 4

Propiedades físicas y mecánicas de la pulpa de Palma Africana

Propiedad medida a una temperatura de 17 °C y una humedad relativa de 65%	Pulpeo mecánico		Pulpeo termomecánico temp. 80 °C tiempo 2 horas		Pulpeo semiquímico NaOH 4%, tiempo 2h, temp. 80 °C	
	Valor Medio	Desviación Estándar	Valor Medio	Desviación Estándar	Valor Medio	Desviación Estándar
Características físicas						
Rendimiento de Cocción (%)	-	-	89	2	60.0	1.5
Freeness CSF (ml)	150.0	2.5	180.0	2.5	210.0	2.5
Gramaje (g/m ²)	52.0	0.5	56.0	0.6	63.0	0.6
Humedad [base seca] (%)	12.6	0.3	13.2	0.0	13.8	0.1
Espesor promedio (µm)	183	6	119	4	121	2
Densidad Aparente (kg/m ³)	360	-	471	-	606	-
Características mecánicas						
Longitud de Ruptura (m)	1012	91	3401	170	3402	136
Índice de Tensión (N m/g)	10.0	1.5	33.4	1.7	33.4	1.4
Índice de Explosión (kPa m ² /g)	0.282	0.050	0.1647	0.165	1.984	0.099
Índice de Rasgado (mN m ² /g)	3.0	0.2	5.3	0.1	5.8	0.3

Esto lleva a pensar en la Cabuya como una fibra apta para la producción de papeles de alta resistencia mecánica como los papeles de embalaje, con la ventaja de poseer un color agradable a la vista, un tono café claro.

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento al personal de la Unidad de Microscopia Electrónica de la Universidad de Costa Rica. Al Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el préstamo de equipo para refinar, en particular al Ing. Aldo Ramírez. De igual forma a la Scott Paper Co., especialmente al Dr. Humberto Trimiño y al Sr. Ricardo Alvarado, por facilitar el refinador de discos.

A las empresas: Cooperativa Coopeindia R. L.; Palma Tica S.A.; Del Campo S. A.; por su aporte económico y donación de la materia prima.

Igualmente al Dr. Róger Bolaños Herrera y a la Familia Figueres, propietaria de la Finca La Lucha, por el suministro del material utilizado en algunas de las pruebas.

RESUMEN

El estudio de la ultraestructura y de la composición química de las fibras provenientes de los desechos agroindustriales, permite prever los posibles usos y las mejores condiciones de pulpeo. La mayoría de las fibras de plantas herbáceas, presentan contenidos de lignina y de extractos totales muy superiores a los valores correspondientes a las fibras maderables. Así mismo, su contenido de holocelulosa es menor. Por esta razón, su estudio es de gran importancia, ya que la cantidad de desechos agroindustriales se ha convertido en un creciente problema ambiental, y en un futuro, podrían ser utilizadas como fuente de fibras tanto para la producción de papel como para la elaboración de productos de bajo costo para la construcción.

Entre las fibras estudiadas, la *Furcraea cabuya* (Cabuya), es la que reúne las mejores propiedades mecánicas para la fabricación de pulpas para papeles de alta resistencia mecánica.

REFERENCIAS

- Alpizar L., L. M. & J.R. Gutiérrez H. 1993. Itabo (*Yucca elephantipes*) y Caña India (*Dracaena massangeana*) Composición Química y Extractos en Solventes. Informe INII-LPF-85-93, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 11 p.
- Blanco R., M. L. & J.R. Gutiérrez H. 1992. Producción y Caracterización de la Pulpa Mecánica del Palmito de Pejibaye (*Bactris gassipaes*). Informe INII-LPF-75-92, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 34 p.
- Blanco R., M. L. & J.R. Gutiérrez H. 1993. Obtención de Pulpa Semiquímica y Termodinámica a partir de Raquis de Palma Africana (*Elaeis guineensis*). Informe INII-LPF-76-93, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 34 p.
- Blanco R., M. L. & M.I. Carpio M. 1992. Producción de Papel Hecho a Mano. Proyecto 731-88-422. INII 68-92. Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 62 p.
- Carpio M., I. M. 1993. Análisis anatómico, morfológico y caracterización de la fibra del tejido que cubre el brote comestible de Pejibaye (*Bactris gassipaes*). Informe INII-LPF-71-93, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 11 p.
- Carpio M., I. M. 1992. Caracterización de la fibra de la hoja de la planta joven de Pejibaye (*Bactris gassipaes*). Informe INII-LPF-71-92, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 12 p.
- Carpio M., I. M. 1993. Análisis anatómico y caracterización de la fibra del tallo de Itabo (*Yucca elephantipes*) y Caña India (*Dracaena massangeana*). Informe INII-LPF-84-93, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 17 p.
- Corbana. 1993. Carta informativa, año 2, n 8, San José, Costa Rica
- Muñoz U., F. 1992. Utilización de Material de Desecho del Reciclaje de Papel para la Fabricación de Paneles de Fibrocemento. Contratado y Financiado por la Compañía Scott Paper de Costa Rica S.A. Informe INII 70-92, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 74 p.
- Sánchez R., O. 1993. Costa Rica: estadísticas de explotación bananera. Sección Estadística, CORBANA, San José, Costa Rica.
- Valladarez, J. 1986. Utilización Integrada de la Planta de Banano. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, Guatemala. 3-13 p.