

# REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada  
que está indizada en las publicaciones  
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Zentralblatt Für Mathematik
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

## Sugarcane bagasse pulp with a high ratio of long fiber

*Noé Aguilar Rivera*

*Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Km. 1 Carretera Peñuela Amatlán de los Reyes S/N. C.P. 94945, Córdoba, Veracruz México. Tel/fax +52 271 71 6 61 29, correo electrónico: naguilar@uv.mx*

### Abstract

Sugarcane bagasse is a nonwood fiber in developing countries. However, is composed of damaged fibers by mills from sugar factory, average length fibers is in the range of hardwood but shorter than softwood and low strength properties and drainage with filtration and permeability problems in papermaking. This constraint is solved by technological strategies incorporating long fiber softwood pulp to the composition of bagasse pulp for different papers in stock preparation. The objective of this paper was to evaluate the potential of kraft sacks pulp, as a reinforcing component in soda bagasse pulps. Kraft sacks paper was handled with conventional methods of recycling and later mixed with bagasse pulp. Pulp & paper industry test was used to evaluate mechanical and drainability properties and fibers length distribution. It could be observed that the fraction of largest fibers in length is approximately 55% higher than conventional soda bagasse pulp. The results showed that the drainage and mechanical strength of the bagasse/ kraft sacks pulp samples were better that bagasse.

**Keywords;** Bagasse pulp; soda process; kraft sacks pulp

## Pulpa de bagazo de caña con alto índice de fibra larga

### Resumen

El bagazo de caña es una fibra no maderable para la fabricación de papel en países en desarrollo. Sin embargo, está compuesto por fibras dañadas por los molinos del ingenio azucarero de longitud media en el rango de latifoleadas pero más cortas que coníferas, presenta propiedades de baja resistencia y drenabilidad en la fabricación de papel. Este conjunto de limitaciones se resuelve mediante la estrategia tecnológica de adicionar fibra larga de coníferas en diferentes pastas para la fabricación de papel. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de la pulpa de sacos kraft, como un componente de refuerzo, en pulpas a la sosa de bagazo. Sacos kraft se manejaron con métodos convencionales de reciclado y posteriormente mezcladas con pulpa de bagazo. Se utilizaron técnicas de la industria de pulpa y papel para evaluar propiedades físicas de pulpas de bagazo de caña y sacos kraft. En la distribución por longitud de fibras para cada pulpa, se pudo observar que la fracción de fibras más largas fue aproximadamente 55% mayor que la composición de la pulpa a la sosa de bagazo. Los resultados analíticos mostraron que las propiedades de drenado y resistencia mecánica de la pulpa obtenida fueron mejores que las de pulpa convencional de bagazo.

**Palabras clave:** Pulpa de bagazo; proceso sosa; sacos Kraft

### Introducción

El bagazo es el residuo lignocelulósico del proceso de fabricación del azúcar a partir de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), es decir, un subproducto agroindustrial. Se ha empleado para la producción de energía (eléctrica, mecánica y vapor) y en la industria de

pulpa y papel como fuente de celulosa con una capacidad instalada de 674,000 toneladas/año, aproximadamente 2-5% de la producción global de pulpa para productos de papel, [1].

La mayor expansión y desarrollo tecnológico en el empleo de esta materia prima para la industria de pulpa y papel tuvo lugar durante el desarrollo de los derivados

de la caña de azúcar (1968-1978) [2], sin embargo, en la presente década se ha hecho evidente una tendencia al retroceso en el uso del bagazo en la industria de pulpa y papel, con respecto a fibras no maderables como bambú y pajas, por la incertidumbre en el abastecimiento de este subproducto, a causa de las crisis azucarera y a su uso extensivo como combustible (5,2 t de bagazo a 50 % humedad son equivalentes por t de fuel-oil) en cogeneración en plantas de etanol y azúcar, como reflejo de los inestables precios del petróleo, impactos ambientales, competencia con fibra reciclada y con papel y cartón producidos de madera en países desarrollados [3].

En este sentido, aunque existen trabajos recientes que han evaluado procesos convencionales (sosa, kraft y antraquinona) y la generación de nuevos métodos de producción de pulpas de bagazo como organosolv, biotecnológico y sistemas de blanqueo libre de cloro elemental y totalmente libre de cloro [4-10]; en general, la pulpa de bagazo presenta aún características intrínsecas limitantes en su desempeño papelero (runnability, printability) como alto contenido de finos y de parénquima, pentosanos, longitud de fibra corta [11] en relación a coníferas ( $\geq 3,5$  mm) y latifoliadas ( $\geq 1,5$  mm) y baja opacidad (Tablas 1 y 2)

Tabla 1  
Propiedades del bagazo de caña [12]

| Propiedades morfológicas                           |                |
|--|----------------|
| Longitud de fibra                                  | 1,1088 mm      |
| Ancho de fibra                                     | 18,873 $\mu$ m |
| Ancho de lumen                                     | 10,850 $\mu$ m |
| Espesor de la pared celular                        | 8,023 $\mu$ m  |
| Longitud de elementos de vaso                      | 1,23718 mm     |
| Ancho de elementos de vaso                         | 0,10793 mm     |
| Densidad de vasos (No. de vasos /mm <sup>2</sup> ) | 2,143          |
| Fibra útil   | 51,4 %         |
| Médula (pith)                                      | 36,7 %         |
| Solubles   | 11,9 %         |
| Composición química (%)                            |                |
| Extraíbles ETOH/Tolueno                            | 3,4            |
| Extraíbles ETOH                                    | 2,7            |
| Extraíbles en agua                                 | 3,7            |
| Cenizas  | 1,1            |
| Lignina  | 24,5           |
| Holocelulosa                                       | 78,7           |
| Celulosa   | 47             |
| Pentosanos   | 25,6           |

Tabla 2  
Potencial de pulpa de bagazo en varios productos de papel y cartón [15, 16]

| Tipo of Papel                        | Bagazo (%) | Fibra Larga (%) | Calidad de papel |
|--------------------------------------|------------|-----------------|------------------|
| Bond                                 | 80 - 90    | 10 - 20         | Excelente        |
| Cartulina Bristol                    | 100        | 0               | Excelente        |
| Envoltura "B"                        | 60 - 70    | 30 - 40         | Aceptable        |
| Medio corrugado                      | 90         | 10              | Excelente        |
| Glassine                             | 80 - 90    | 10 - 20         | Muy Bueno        |
| Greaseproof                          | 75 - 85    | 15 - 25         | Excelente        |
| Embalaje ligero                      | 65 - 75    | 25 - 35         | Bueno            |
| Linerboard                           | 60 - 70    | 30 - 40         | Aceptable        |
| Periódico                            | 80 - 100   | 0 - 20          | Muy Bueno        |
| Sacos kraft                          | 50 - 60    | 40 - 50         | Aceptable        |
| Sanitario y toallas (tissue)         | 80 - 85    | 15 - 20         | Muy Bueno        |
| Test liner                           | 75 - 85    | 15 - 25         | Bueno            |
| Encerado                             | 50 - 60    | 40 - 50         | Bueno            |
| Escritura, impresión, artes y diseño | 80 - 90    | 10 - 20         | Muy Bueno        |

Estos factores influyen directamente en el desempeño de esta pulpa en los sistemas de lavado y formación de la hoja en la máquina de papel, debido a un débil drenado en vacío en la sección de prensas y en resistencia mecánicas inferiores. La solución técnica aplicada a esta problemática ha sido incorporar fibra larga de coníferas [13,14] para la formulación de diversos tipos de papel con celulosa de bagazo (Tabla 2).

En este sentido, la pulpa de bagazo tiene grandes potencialidades ante la escasez de materia prima forestal,

pero actualmente no se producen bajo condiciones de mercado "pulpas de bagazo universalmente aplicables", debido a que sus resistencias mecánicas son similares o ligeramente deficientes a la pulpa de madera duras como eucalipto y por lo general, es necesario añadir un porcentaje de 10 a 20 % en promedio de fibra larga en la mayoría de los diferentes grados de papel, para mejorar su desempeño y operatividad en las etapas de formación y conversión. Sin embargo, debido al alto costo de las pulpas de madera de fibra larga en el mercado

mundial y doméstico, es necesaria la búsqueda de fuentes complementarias o sustitutivas de fibra larga. En este sentido, los fabricantes de papel y cartón actualmente están incrementando el uso de fibra reciclada denominada de forma genérica Old Corrugated Containers (OCC) compuesto por cartón corrugado y papel de sacos kraft principalmente, como fuente de fibra opcional a pulpas químicas kraft, semi-químicas y mecánicas en procesos de manufactura, mediante el reciclado o provenientes del mercado de importación, como alternativa viable para obtener celulosa semiblanqueada y blanqueada. La gran ventaja del reciclado de OCC es que se disminuye el uso de recursos fibrosos maderables y requiere menor energía y agua. La tasa de recuperación de papel y cartón reciclado se está aproximando en muchos países al 50 %. Los mayores recuperadores son Corea del Sur (91,6%), Alemania (84,8%), Japón (79,3%), Reino Unido (78,7%), España (73,8%), Estados Unidos (63,6%), Italia (62,8%) e Indonesia (53,4%) [17]. Sin embargo, el reto más importante es desarrollar innovaciones técnicas para mejorar la calidad y disminuir la contaminación presente en las fibras secundarias. En relación a lo anterior, los resultados de diversos trabajos [18,19] establecieron que el OCC mediante el fraccionamiento de fibras, aditivos químicos, refinación e inclusive etapas de deslignificación en medio fuertemente alcalino y/o blanqueo convencional y libre de cloro, son adecuados para revitalizar las fibras como resultado del incremento en la flexibilidad y fibrilación externa y revertir la hornificación por efecto del secado y los aditivos [20-24] para su uso como sustituto efectivo como fibra larga en diversos grados de papel y aun pulpa para derivados de celulosa. Por lo tanto, se requieren estrategias e innovaciones tecnológicas con la aplicación de métodos y técnicas analíticas convencionales para mejorar la calidad intrínseca de pulpas de bagazo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de pulpa de sacos kraft para reemplazar fibra larga virgen de madera, para la producción de pulpa de alta calidad de bagazo de caña, mediante el proceso de pulpeo alcalino.

## Metodología

La obtención de pulpa de bagazo y sacos Kraft se llevó a cabo por deslignificación alcalina (NaOH) en microdigestores batch a una concentración de álcali de 13 % en peso, hidromódulo 7:1, temperatura 170 °C, presión de 6,5 kg/cm<sup>2</sup> y 30 minutos de reacción. Para determinar la pulpa de bagazo óptima, con alto contenido de fibra larga, se llevó a cabo un diseño experimental de tipo factorial

considerando las variables: 1) Tasa de deslignificación de mezclas de bagazo y pulpa de sacos Kraft (100-0, 90-10, 80-20 y 70-30 B.S.), 2) Degradación de pulpas de acuerdo a la viscosidad y 3) Contenido de fibra larga y de finos después de la cocción de pulpas. El bagazo fresco procedente del período de la zafra de un ingenio azucarero de Veracruz, México fue previamente desmedulado en tres etapas: seca (cribado), húmeda con un refinador de discos y seca (cribado) hasta la relación fibra/medula mayor a 75/25. La pulpa de sacos Kraft previamente se repulpeo, depuró y se determinaron propiedades físicas de acuerdo a estándares de la Asociación de Técnicos de Celulosa y Papel (TAPPI) [25] (Tabla 3) antes de incorporarse al digestor con bagazo de caña.

Tabla 3  
Técnicas TAPPI utilizadas en la determinación de propiedades físicas de la pulpa de bagazo y sacos Kraft [25]

| Análisis                                | Técnica        |
|---|----------------|
| Determinación de fibra útil en bagazo   | T- um3         |
| No. Kappa en Pulpa                      | T 236 cm-85.   |
| Análisis de licor negro sosa y sulfato  | T 625 cm-14    |
| Lignina en pulpa                        | T 222 om-88    |
| Longitud de fibras de pulpa             | T-233-cm 82    |
| Formación de hojas para pruebas físicas | T-205 om - 88  |
| Acondicionamiento de las hojas          | T -402 om - 93 |
| Índice de explosión                     | T-403 om - 91  |
| Resistencia al rasgado                  | T-414 om - 88  |
| Blancura                                | T-218 om - 91  |
| Viscosidad en pulpas                    | T-230 om-89    |
| Resistencia al doblez                   | T - 423        |
| Refinación de pulpas celulósicas        | T-248-wd-97    |
| Grado de refinación                     | SCAN-m3:65     |
| Freeness                                | T 227 om-99    |
| Tiempo de drenado                       | T 221 cm-09    |
| Permeabilidad                           | T-460-om-96    |

## Resultados y discusión

### Pulpa de sacos Kraft

En las Tablas 4 y 5 se presentan las propiedades de la pulpa de sacos Kraft

Tabla 4  
Propiedades de la pulpa de sacos Kraft

|                                   |      |   |        |
|-----------------------------------|------|---|--------|
| Kappa                             | 64   | Blancura (% ISO)                            | 23,6   |
| Viscosidad (Centipoise)           | 12   | Grado de refinación (°S.R.)                 | 13,5   |
| Lignina (%)                       | 9,6  | Freeness (mL C.S.F.)                        | 733    |
| Cenizas (%)                       | 2,9  | Longitud de ruptura (metros)                | 2,265  |
| Sólidos totales disueltos (%)     | 3,1  | Índice de rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)    | 26,68  |
| Sólidos orgánicos disueltos (%)   | 1,4  | Índice de explosión (kPa.m <sup>2</sup> /g) | 1,92   |
| Sólidos inorgánicos disueltos (%) | 1,6  | Resistencia al dobléz (dobles pliegues)     | 27     |
| Rendimiento en repulpeo (%)       | 84,8 | Permeabilidad (segundos por 100 mL)         | Poroso |
| Rechazos en repulpeo (%)          | 4,5  | Tiempo de drenado (segundos)                | 4,28   |

Tabla 5  
Clasificación Bauer-McNett de pulpas de sacos Kraft, cartón corrugado y virgen Kraft de coníferas

| Malla | Pulpa Kraft<br>Coníferas | Sacos Kraft |      | Cartón corrugado |
|-------|--------------------------|-------------|------|------------------|
|       |                          | % Retenido  |      |                  |
| 30    | 81,1                     | 55,5        | 38,9 |                  |
| 50    | 6,6                      | 17,7        | 23,8 |                  |
| 100   | 5,4                      | 10,2        | 15,8 |                  |
| 200   | 0,9                      | 4,1         | 4,4  |                  |
| < 200 | 6,0                      | 12,5        | 17,1 |                  |

La pulpa de sacos Kraft con contenido de lignina de 9.6 %, fibras largas mayor al 50 % equivalente al 68 % de una pulpa virgen de coníferas con 81 % de proporción, presenta propiedades de resistencia equivalentes a pulpa de maderas duras como eucalipto, lo que podría aportar significativamente resistencias físicas y de drenado a la pulpa de bagazo, sin embargo, también presenta fibras cortas (12,5 %) resultado de los procesos de conversión y reciclado. Por otra parte, el cartón Kraft no resulta un material recomendable derivado de su bajo contenido de fibras larga y alta proporción de finos. Sin embargo, puede requerir procesos de fraccionamiento de fibras y/o aditivos.

### Digestión de mezcla bagazo/ sacos Kraft

Las pulpas bagazo/sacos Kraft resultantes de la etapa

de digestión o cocción por el proceso alcalino se presentan en Tabla 6.

De acuerdo a los resultados de deslignificación, puede observarse que el nivel de lignina residual se incrementa con el contenido de sacos kraft en la fracción de la mezcla fibrosa, al aportar una considerable proporción, y en el caso de los rechazos de cocción, ocurre lo contrario al reducirse estos por efecto de las condiciones alcalinas. Por lo tanto, para evaluar el comportamiento individual (bagazo y sacos Kraft) se realizó un ensayo para cada pulpa empleando las mismas condiciones de digestión en el mismo digestor separadas las fracciones mediante una malla 325 de acero inoxidable para evaluar el grado de deslignificación, características del licor negro y viscosidad Cuprietilendiamina (CED) de ambas materias primas (Tablas 7, 8 y 9).

Tabla 6  
Resultados etapa de deslignificación Bagazo/ sacos kraft

| Pulpa           | Bagazo 100% | 90-10 | 80-20 | 70-30 |
|-----------------|-------------|-------|-------|-------|
| Kappa           | 18          | 19,2  | 21    | 26,1  |
| Lignina (%)     | 2,7         | 2,88  | 3,15  | 3,92  |
| Rendimiento (%) | 55,3        | 58,1  | 60,4  | 64,5  |
| Rechazos (%)    | 3,9         | 3,0   | 1,8   | 1,5   |

Tabla 7  
Deslignificación de componentes individuales

| Pulpa  | Composición                 | Kappa | Rendimiento (%) | Rechazos (%) |
|--------|-----------------------------|-------|-----------------|--------------|
| Bagazo | 100 % Bagazo                | 18    | 55,3            | 3,9          |
| 90-10  | Fracción Bagazo (90 %)      | 14,5  | 53,5            | 1,5          |
|        | Fracción Sacos Kraft (10 %) | 37    | 80,1            | 0,7          |
| 80-20  | Fracción Bagazo (80 %)      | 14,2  | 55,2            | 0,8          |
|        | Fracción Sacos Kraft (20 %) | 34,8  | 80,3            | 1,5          |
| 70-30  | Fracción Bagazo (70 %)      | 12,1  | 55,1            | 0,9          |
|        | Fracción Sacos Kraft (30 %) | 35,6  | 79,7            | 0,9          |

Tabla 8  
Propiedades del licor negro

| Pulpa  | Sólidos totales (%) | $\rho$ (g.cm <sup>-3</sup> ) | NaOH residual (gL <sup>-1</sup> ) | Consumo de reactivos (%) | pH final |
|--------|---------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| Bagazo | 6,2                 | 1,031                        | 3,29                              | 82,3                     | 11,97    |
| 90-10  | 5,8                 | 1,012                        | 3,01                              | 83,8                     | 12,96    |
| 80-20  | 4,7                 | 1,019                        | 3,28                              | 82,3                     | 12,29    |
| 70-30  | 4,6                 | 1,018                        | 3,15                              | 83,1                     | 12,91    |

Tabla 9  
Viscosidad CED de componentes individuales

| Composición de Pulpa        | Viscosidad (Centipoises) |
|-----------------------------|--------------------------|
| 100 % Pulpa Sacos Kraft     | 12                       |
| 100 % Bagazo                | 36,8                     |
| 90-10                       | 26,8                     |
| Fracción Bagazo (90 %)      | 35,3                     |
| Fracción Sacos Kraft (10 %) | 12                       |
| 80-20                       | 24,6                     |
| Fracción Bagazo (80 %)      | 30,9                     |
| Fracción Sacos Kraft (20 %) | 11,6                     |
| 70-30                       | 20,4                     |
| Fracción Bagazo (70 %)      | 26,7                     |
| Fracción Sacos Kraft (30 %) | 10,2                     |

Es decir, bajo las condiciones de deslignificación, se logró disminuir significativamente el contenido de lignina en ambos materiales, en lo que respecta a las fracciones de sacos Kraft, la deslignificación se mantiene a un nivel constante en una disminución de por lo menos 27 unidades kappa (aproximadamente 4 % de lignina residual). Después de esta etapa, a las pulpas resultantes se les determinó su relación porcentual por tamaño de fibra, lo que estableció que se incrementó el contenido de fibra larga (malla 30) 90,7; 105,1 y 135 % respectivamente,

sin embargo la fracción de finos (malla <200) también se incrementó 11, 12,7 y 26,4 % (Tabla 10). Por otra parte la degradación de la pulpa (viscosidad) de bagazo se manifestó en 4,1; 16 y 27,4 % respectivamente, es decir, de forma considerable en la pulpa 70-30 con una caída de 10,1 Cp. La presencia de fibra reciclado en el digestor no afecta significativamente las características del licor negro y por lo tanto el proceso de recuperación de reactivos no se modifica.

Tabla 10  
Clasificación Bauer-McNett de pulpas

| Malla | Bagazo 100 % | 90-10 | 80-20 | 70-30 |
|-------|--------------|-------|-------|-------|
| 30    | 9,7          | 18,5  | 19,9  | 22,8  |
| 50    | 30,75        | 18,35 | 21,05 | 23,35 |
| 100   | 28,35        | 28,75 | 23,15 | 14,05 |
| 200   | 13,8         | 15,1  | 16,3  | 17,8  |
| < 200 | 17,4         | 19,3  | 19,6  | 22    |

Al resolver el diseño experimental se determinó, de acuerdo a las propiedades evaluadas, que la mezcla bagazo/sacos Kraft en proporción 80-20 presenta propiedades estadísticamente óptimas como fuente de fibra larga (Figura 1).

Sin embargo, para determinar su potencial esta pulpa se requiere evaluar el efecto del trabajo mecánico

de refinación para el desarrollo de propiedades físicas y de drenado. Este se llevó a cabo en un molino Jokro, su control se realizó mediante el método Shopper Riegler (°S.R.) y Canadian Standard Freeness (mL C.S.F.) (Tablas 11 y 12)

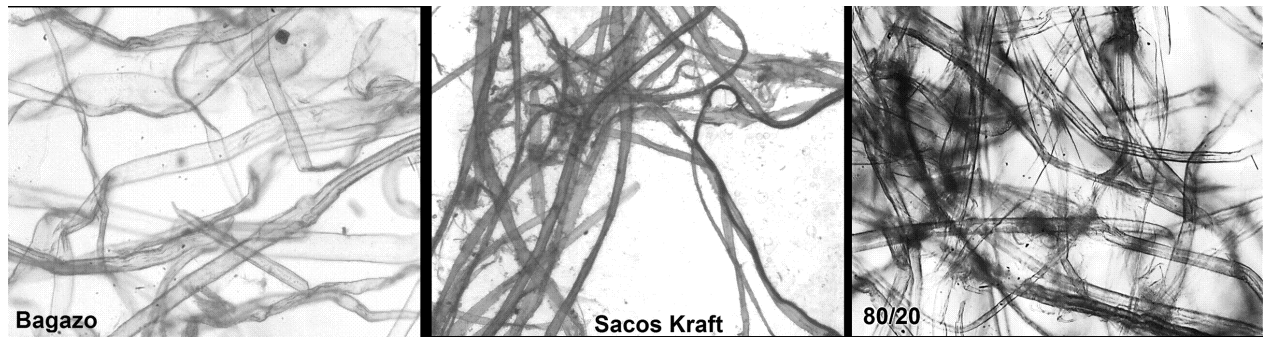


Figura 1. Fibras al microscopio

Tabla 11  
Grado de refinación de pulpa bagazo/ sacos Kraft (°S.R.)

| Tiempo de Refinación (minutos) | Bagazo 100 % | 80-20 | Diferencia (%) (80-20/Bagazo) |
|--------------------------------|--------------|-------|-------------------------------|
| 0                              | 14           | 13,5  | -3,57                         |
| 3                              | 20           | 19    | -5,00                         |
| 5                              | 22           | 23    | +4,55                         |
| 6                              | 23           | 25    | +8,70                         |
| 7                              | 24,5         | 27    | +10,20                        |
| 10                             | 28           | 31    | +10,71                        |
| 13                             | 33,5         | 35    | +4,48                         |
| 15                             | 36,5         | 39,5  | +8,22                         |
| 18                             | 48           | 44    | -8,33                         |
| 21                             | 52           | 48,5  | -6,73                         |
| 24                             | 55           | 55    | -                             |

Tabla 12  
Propiedades Mecánicas de pulpa bagazo/sacos Kraft

| Propiedad  | Grado de refinación |           | Bagazo | 80-20  | Diferencia (%)<br>(80-20/Bagazo) |
|--|---------------------|-----------|--------|--------|----------------------------------|
|  | °S.R.               | mL C.S.F. |        |        |                                  |
| Índice de explosión<br>(kPa.m <sup>2</sup> /g)         | 15                  | 720       | 3,92   | 3,66   | -6,63                            |
|  | 22                  | 568       | 6,22   | 5,893  | -5,26                            |
|  | 25                  | 512       | 6,69   | 6,045  | -9,64                            |
|  | 27                  | 472       | 6,85   | 6,198  | -9,52                            |
|  | 35                  | 358       | 7,28   | 6,87   | -5,63                            |
| Longitud de ruptura<br>(metros)                        | 44                  | 257       | 7,40   | 7,22   | -2,43                            |
|  | 15                  | 720       | 5974   | 5899   | -1,26                            |
|  | 22                  | 568       | 8658   | 7756   | -10,42                           |
|  | 25                  | 512       | 8905   | 7963   | -10,58                           |
|  | 27                  | 472       | 8973   | 8199   | -8,63                            |
| Índice de rasgado(mN.<br>m <sup>2</sup> /g)            | 35                  | 358       | 9125   | 9094   | -0,34                            |
|  | 44                  | 257       | 9097   | 9064   | -0,36                            |
|  | 15                  | 720       | 8,35   | 19,58  | +134,49                          |
|  | 22                  | 568       | 11,80  | 11,92  | +1,02                            |
|  | 25                  | 512       | 11,59  | 11,435 | -1,34                            |
| Resistencia al dobléz<br>(Número dedobles<br>pliegues) | 27                  | 472       | 10,838 | 11,108 | +2,49                            |
|  | 35                  | 358       | 9,54   | 10,04  | +5,24                            |
|  | 44                  | 257       | 8,74   | 9,175  | +4,98                            |
|  | 15                  | 720       | 238    | 264    | +10,92                           |
|  | 22                  | 568       | 437    | 710    | +62,47                           |
| Tiempo de drenado<br>(segundos)                        | 25                  | 512       | 495    | 780    | +57,58                           |
|  | 27                  | 472       | 549    | 825    | +50,27                           |
|  | 35                  | 358       | 708    | 902    | +27,40                           |
|  | 44                  | 257       | 763    | 591    | -22,54                           |
|  | 15                  | 720       | 4,61   | 4,48   | -2,82                            |
| Permeabilidad<br>(segundos por 100 mL)                 | 22                  | 568       | 5,87   | 5,69   | -3,07                            |
|  | 25                  | 512       | 6,58   | 6,07   | -7,75                            |
|  | 27                  | 472       | 7,03   | 6,36   | -9,53                            |
|  | 35                  | 358       | 8,52   | 7,24   | -15,02                           |
|  | 44                  | 257       | 10,18  | 8,47   | -16,80                           |
| Permeabilidad<br>(segundos por 100 mL)                 | 15                  | 720       | 10     | 5      | +50,00                           |
|  | 22                  | 568       | 48     | 20     | +58,33                           |
|  | 25                  | 512       | 72     | 24     | +66,67                           |
|  | 27                  | 472       | 91     | 28     | +69,23                           |
|  | 35                  | 358       | 189    | 48     | +74,60                           |
|  | 44                  | 257       | 342    | 78     | +77,19                           |

Los incrementos de resistencia obtenidos por la refinación se deben a la sinergia de la capacidad de hinchamiento de la pulpa virgen de bagazo que junto a la fibrilación interna y externa de las fibras largas de sacos Kraft, al disminuir la rigidez y hornificación por efecto del tratamiento alcalino, logran una mayor capacidad de unión inter e intra fibrilar que se manifestó en un mayor desarrollo de resistencias mecánicas a menor disminución de la capacidad de drenado de la pulpa de bagazo individual evaluado como testigo. Por otro lado,

la refinación de las pulpas obtenidas por deslignificación, presenta ventajas sobre la refinación individual de la pulpa sacos Kraft y bagazo de caña. En este sentido se preparó una pasta de proporción bagazo/sacos Kraft repulpeado y ambos refinados por separado a 42 °S.R. o 285 mL C.S.F. y se mezclaron proporcionalmente a 80-20. Se formaron hojas de prueba a 60 g/m<sup>2</sup> y se realizaron pruebas físicas; al mismo tiempo se refino pulpa 80-20 obtenida por deslignificación (Tabla 13)



Tabla 13  
Propiedades de pastas bagazo/sacos Kraft

| Propiedad/pulpa                                   | 80 % pulpa de bagazo+20 % pulpa de sacos Kraft | 80-20 | Diferencia (%) |
|---|--|-------|----------------|
| Tiempo de drenado (segundos)                      | 10,9   | 8,29  | -23,9          |
| Permeabilidad (segundospor100 mL)                 | 112,5  | 79    | +29,8          |
| Longitud de ruptura (metros)                      | 6453   | 9244  | +43,3          |
| Índice de explosión (kPa.m <sup>2</sup> /g)       | 5,304  | 7,64  | +44,0          |
| Índice de rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)          | 8,764  | 9,2   | +5,0           |
| Resistencia al doblez (Número de dobles pliegues) | 270,8  | 657   | +142,6         |

Los resultados de los ensayos muestran que en general las propiedades mecánicas y de drenado para la pulpa blanqueada 80-20 son significativamente mayores, principalmente en el índice de rasgado, derivado del incremento en el contenido porcentual de fibra larga en esta pulpa en relación al bagazo convencional, y por una mayor capacidad de enlaces interfibras en la refinación ocasionando un menor daño en las paredes de las fibras de bagazo, esto implica una menor refinación adicional para obtener una pulpa de bagazo de uso general que puede blanquearse por los métodos convencionales e innovaciones tecnológicas existentes, minimizando la formación de compuestos halogenados contaminantes (AOX Adsorbable Organic Halogen) y maximizando la calidad de productos de pulpa y papel de pulpa blanqueada y sin blanquear de bagazo [25-30].

### Conclusiones

Los resultados establecen que se incrementó el contenido de fibra larga en la pulpa de bagazo, sin embargo, la mezcla fibrosa con 20 % de pulpa de sacos Kraft presentó mayores propiedades de resistencia mecánica y menor resistencia al drenado que la pulpa original de bagazo de caña a diferentes niveles de refinación, aceptable para resolver las limitaciones técnicas de resistencia física y drenabilidad que presenta la pulpa de bagazo en diversos tipos de papel. La pulpa 70-30 aunque presenta la mayor cantidad de fibra larga, también se incrementó la fracción de finos desde la etapa de mezclado de estas. Este material forma una estructura cerrada y poco porosa lo que impide que la fracción de fibras largas trabaje de manera óptima. Con la incorporación de 20 % de pulpa de fibra larga de sacos Kraft en el pulpeo de bagazo de caña, se logró disminuir el tiempo de drenado en un 9 % en promedio, y un incremento en la porosidad del 66 %, rasgado 24 % y doblez 31 %.

Sin embargo es necesario evaluar otros procesos convencionales de deslignificación como Kraft, o bien nuevas tecnologías como Sosa-Antraquinona, Organosolv, ASAM (Proceso Sosa-Antraquinona con Metanol y Sulfito de sodio), sulfito alcalino y antraquinona (AS/AQ) y

enzimático y otras secuencias de carácter ácido y blanqueo a base de O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> (Totalmente libres de cloro) o bioblanqueo para determinar la respuesta y propiedades del bagazo de caña y sacos Kraft a estos procesos.

### Agradecimientos

Departamento de Madera, Celulosa y Papel Ing. Karl Augustin Grellmann y el programa de Maestría en Ciencias en Productos Forestales, del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara Jalisco, México para la realización de este estudio.

### Referencias bibliográficas

- [1] FAO. "Pulp and paper capacities survey 2010-2015". Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma Italia. (2011).
- [2] Triana O., Leonard, M. F. Saavedra, N. Fernández, G. Gálvez y E. Peña. "Atlas del bagazo de caña de azúcar". Monografía Ed. GEPLACEA, PNUD, ICIDCA, La Habana Cuba. (2011) 143.
- [3] Rainey, Thomas J. & Covey, Geoff. "Pulp and paper production from sugarcane bagasse". In O'Hara, Ian M. & Mundree, Sagadevan (Eds.) *Sugarcane-based Biofuels and Bioproducts*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, (2016) 259-280.
- [4] Samariha A. "Effect of Beating Value on Bagasse CMP Pulp Fiber Characteristics" *World Applied Sciences Journal*, Vol. 12, No. 11 (2011) 1987-1988.
- [5] Zhao X. "Delignification of sugarcane bagasse with alkali and peracetic acid and characterization of pulp". *Bio Resources*, Vol. 5, No 3 (2010) 1565-1580.
- [6] Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., Jahan, A and Tschirner U. "Bagasse alkaline sulfite-anthraquinone (AS/AQ) pulping and totally chlorine free (TCF) bleaching". *Holzforchung*, Vol. 62, No. 2 (2008) 142-148.

- [7] Soltanali, S. and Ziaie Y. "Biobleaching of bagasse pulp with xylanase enzymes and hydrogen peroxide". *Iranian Journal of Biotechnology*, Vol. 5, No. 3 (2007) 170-177.
- [8] Li, Z., Li, J., Xu, J., & Mo, L. H. "Clean Bleaching Engineering Practice for Bagasse Pulp: Totally Chlorine-Free and Elemental Chlorine-Free Bleaching Realized with the Same Production Line". *BioResources*, Vol 10, No. 2 (2015) 2667-2680.
- [9] Yao, S., Gao, C., Zhu, H., Zhang, Y., Wang, S., & Qin, C. "Effects of Additives on Absorbable Organic Halide Reduction in Elemental Chlorine-Free Bleaching of Bagasse Kraft Pulp". *BioResources*, Vol. 11, No.1 (2015) 996-1006.
- [10] Yue, F., Chen, K. L., & Lu, F. "Low Temperature Soda-Oxygen Pulping of Bagasse". *Molecules*, Vol. 21, No. 85 (2016). 1-12.
- [11] Hooman, A., Ahmad, H., Tabei, A., Nemati, M. and A. Khakifirooz "Study of Morphological and Chemical Composition of Fibers from Iranian Sugarcane Bagasse". *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, Vol. 11 (2011) 478-481.
- [12] Aguilar, R. N. "Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel". *Ingeniería Investigación y Tecnología*, Vol. 12, No. 2 (2011). 189-197.
- [13] Rainey, T., William, D., Martinez, O., Richard, D. and Neil K. "Determination of the Permeability Parameters of Bagasse Pulp from Two Different Sugar Extraction Methods". In *Proceedings Tappi Engineering Pulping and Environmental Conference. Session 4.1. Portland. Oregon. USA. (2008) 1-27.*
- [14] Rainey, T., and Clark N. "An overview of bagasse as a resource for the Australian paper industry". *International Sugar Journal*, Vol. 106, No. 1271 (2004) 608-611.
- [15] Covey, G., Rainey, T., and Shore D. "The potential for bagasse pulping in Australia". *Appita Journal*, Vol. 59, No. 1 (2006) 17-22.
- [16] Carvalhaes, E. Brazilian Pulp and Paper Industry report. Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa) São Paulo - SP - Brasil (2011) 1-28. <http://www.bracelpa.org.br/eng/estatisticas/pdf/booklet/booklet.pdf>.
- [17] Danielewicz, D. "Pulping and bleaching OCC. Part I: Delignification". *Journal of the Technical Association of the Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry*, Vol. 64. No. 1 (2011) 62-65.
- [18] Danielewicz, D. "Pulping and Bleaching OCC. Part II. Oxygen Delignification and Bleaching". *Journal of the Technical Association of the Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry*, Vol. 64, No. 1 (2011) 66-70.
- [19] Wan, J., Yang, J., Ma Y., and Wang Y. "Effect of pulp preparation and papermaking processes on the properties of OCC fibers". *Bio Resources*, Vol. 6, No. 2 (2011) 1615-1630.
- [20] Hubbe, M., Venditti, R., and Rojas O. "What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review". *Bio Resources*, Vol. 2, No. 4 (2007) 739-788.
- [21] Jahan, M. S., Rahman, M. M., & Sarkar, M. "Upgrading old corrugated cardboard (OCC) to dissolving pulp". *Cellulose*, 1-9. (2016). DOI 10.1007/s10570-016-0894-1.
- [22] Hamzeh, Y., Sabbaghi, S., Ashori, A., Abdulkhani, A., & Soltani, F. Improving wet and dry strength properties of recycled old corrugated carton (OCC) pulp using various polymers. *Carbohydrate polymers*, Vol. 9, No. (1, (2013) 577-583.
- [23] Sheikhi, P., Asadpour, G., Zabihzadeh, S. M., & Amoei, N. "Optimum Mixture of Virgin Bagasse Pulp and Recycled Pulp (OCC) for Manufacturing Fluting Paper" *BioResources*, Vol.8, No. 4 (2013) 5871-5883.
- [24] TAPPI (Technical association of the pulp and paper industries). *TAPPI Test Methods 2000-2001*. Atlanta GA.
- [25] Verma, D., Gope, P. C., Singh, I., & Jain, S. "Processing and Properties of Bagasse Fibers". In *Biomass and Bioenergy* (pp. 63-75) (2014). Springer International Publishing.
- [26] Kumaraguru, K., Rengasamy, M., Kumar, E. T. P., & Venkadesh, D. "Factors affecting printing quality of paper from bagasse pulp". *International Journal of ChemTech Research*, Vol.6 (2014) 2783-2787.
- [27] Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R., Karar, I., & Khider, T "Environmentally friendly pulping and bleaching of bagasse". *Industrial crops and products*, Vol. 23 No. 2, (2006). 131-139.
- [28] Andrade, MF; Colodette, JL, de Oliveira, RC, Jardim, CM; Jameel, H Production of printing and writing paper grade pulp of sugar cane bagasse. *TAPPI Journal* Vol. 13 No. 6, (2014) 35-44.
- [29] Nie, S., Yao, S., Qin, C., Li, K., Liu, X., Wang, L., & Wang, S. "Kinetics of AOX formation in chlorine dioxide bleaching of bagasse pulp". *BioResources*, Vol. 9 No.3, (2014) 5604-5614.
- [30] Vargas-Radillo, J. J. "Pasta blanqueada y azúcares fermentables a partir de médula de bagazo de caña". *Madera y bosques*, Vol. 21, No 2, (2015) 117-130.

Recibido el 13 de Junio de 2015  
En forma revisada el 27 de Junio de 2016



UNIVERSIDAD  
DEL ZULIA

---

## **REVISTA TECNICA**

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

**Vol. 39. N°2, Agosto 2016**\_\_\_\_\_

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada  
en Agosto de 2016, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**  
**Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela***

[www.luz.edu.ve](http://www.luz.edu.ve)  
[www.serbi.luz.edu.ve](http://www.serbi.luz.edu.ve)  
[produccioncientifica.luz.edu.ve](http://produccioncientifica.luz.edu.ve)