

NOTA TÉCNICA

CELULOSA BLANQUEADA ECF y TCF DE CARTÓN KRAFT RECICLADO

Noé Aguilar Rivera¹

RESUMEN

En nuestro país, el uso indiscriminado de los recursos forestales, aunado al crecimiento poblacional e industrial y a la contaminación ambiental, han provocado serios conflictos de desabasto de madera para la industria de pulpa y papel; por tal motivo, el reciclado de papel se ve como una alternativa a este problema. En el presente estudio se analizó la posibilidad de mejorar las propiedades mecánicas y ópticas del cartón desperdicio mediante una deslignificación alcalina a través del proceso químico a la sosa. Dicho tratamiento permitió eliminar lignina residual e incrementó la flexibilidad y la capacidad de las fibras para enlazarse, lo que contribuyó a mejorar las propiedades mecánicas de las pulpas celulósicas. La pulpa obtenida se sometió a una secuencia libre de cloro (ECF) y a otra libre de compuestos clorados (TCF); asimismo, se evaluaron sus características mecánicas de resistencia a la tensión, explosión, doblez y rasgado, según las normas internacionales de la Asociación Americana de Técnicos de las Industrias de Pulpa y Papel (TAPPI). Se concluyó que con estos resultados hubo mejoras en las características anteriores, lo que justifica una etapa de deslignificación y convierte a esta técnica en una opción como fuente de fibras celulósicas blanqueadas para fabricar diversos tipos de papel y cartón.

Palabras clave: Blanqueo ECF y TCF, cartón Kraft, deslignificación, propiedades papeleras, reciclado, sosa.

ABSTRACT

The unregulated use of forest resources, the population and industrial growth and the problems associated to the environmental pollution, promote the reduction of

Fecha de recibido: 02 de octubre de 2000.

Fecha de aceptación: 09 de agosto de 2004.

¹ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Correo-e: naguilar@uv.mx

wood production for pulp and paper manufacture and other wood products. Paper recycling has been seen as the solution for the lack of forest products for pulp and paper production. This study analyzes the possibility to improve the mechanical and optical properties of old corrugated container (OCC) pulps, through a stage of alkaline delignification by the soda chemical process. This treatment eliminates residual lignin and increases the flexibility and retention of water of the fibers, makes their bonding better and contributes to improve the mechanical properties of the fiber material. The pulp obtained by this process is carried later to a subsequent elementary chlorine free bleaching (ECF) and totally chlorine free bleaching (TCF). The OCC pulp obtained through these treatments was evaluated according to the international test of TAPPI (mechanical resistance properties to the tensile, mullen, doubling and tear). Results showed that the OCC properties were improved, which justify the use of the delignification stage and support this process to produce an important source of bleached fibers for the manufacturing of various types of paper and linerboard.

Key words: ECF and TCF bleaching, OCC linerboard, delignification, paper making characteristics, paper recycling, soda.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una vasta riqueza forestal que ha sido alterada de manera desordenada y continua debido al atraso tecnológico, desde el manejo del recurso forestal hasta su aprovechamiento en bienes y productos para la sociedad. El nulo desarrollo del abastecimiento forestal, al considerarlo como una actividad simple, ha ocasionado serios problemas y grandes pérdidas para las industrias derivadas del bosque, como las de pulpa, papel y cartón. Para éstas, la madera constituye la principal materia prima como una estructura fibrosa que contiene celulosa, lignina y hemicelulosas.

Los procesos de obtención de fibras más utilizados se basan en tratamientos mecánicos y químicos, que resultan en productos de diferentes características; las plantas para elaboración de pulpa son complejas e intensivas en capital; además, requieren sofisticados controles operacionales y mano de obra especializada. En general, la fabricación de papel requiere de mezclas de fibras de diferentes características y aditivos, de acuerdo con el producto final. La escasez de materia prima en los países industrializados y las presiones ambientales de las últimas décadas han motivado el uso de un creciente porcentaje de fibra reciclada en la fabricación de papel y, a medida que aumenta la conciencia ecológica de los consumidores, se observa cierta preferencia por productos que después de su uso, y/o disposición, ofrecen una mejor alternativa para el medio ambiente (Lamas, 1995). La industria de pulpa y papel en particular ha sido, históricamente, el foco de severas críticas debido a su impacto ambiental,

por lo que el papel desperdicio es una fuente de fibra interesante por los beneficios, tanto ecológicos como económicos, que representa el reciclado de dicho material (Avijit, 1995).

La situación actual en la industria mexicana de celulosa y papel requiere solucionar el problema de abasto de materias primas fibrosas y de los elevados costos de importación. En este contexto, el reciclado de diversos tipos de papel y cartón se ve como la alternativa importante para el presente y futuro abasto de materiales fibrosos, ya que tan sólo en nuestro país, desde 1999, 80% de las pulpas celulósicas provienen de las fibras secundarias (CNICP, 2003), por lo que las actuales tecnologías de reciclado de papel y cartón deben minimizar el daño que sufren las fibras durante los procesos de pulpeo y conversión.

Por lo anterior, aunado a la constante incertidumbre económica en los mercados, el desbalance en la oferta y la demanda de fibras secundarias propicia altas y bajas en los precios internacionales. Este panorama se ve incierto debido a la dependencia de la industria nacional frente al abasto de los mercados internacionales de fibras y productos de papel y cartón. Durante los años 2000 y 2002 la balanza comercial del sector fibras secundarias en México mostró disminuciones en las toneladas exportadas e importadas (Cuadro 1) (INEGI, 2003).

Cuadro 1. Balanza comercial del sector fibras (toneladas) secundarias.

Concepto	2000	2002	Diferencia
Exportación de fibras secundarias	127 323.7	125 628.2	-1695.6
Importación de fibras secundarias	1 386 166.6	1 358 571.4	-27 595.2

Por las razones expuestas, las fibras secundarias son consideradas como la alternativa más significativa en el futuro abasto de materias primas fibrosas para el desarrollo de la industria de celulosa y papel en el mundo, como sustitutos parciales o totales, rentables y competitivos, de pulpas químicas o de alto rendimiento. En la última década se han realizado muchos esfuerzos para la reutilización del papel desperdicio, para lo que se desarrollaron dos grandes líneas de uso y manejo:

1. Reciclado del papel desperdicio de fibras largas y sin blanquear para la obtención de papel inicial con características similares.

2. Utilización del papel desperdicio impreso blanco –integrado en su mayoría por fibra corta- para obtener papeles blancos aplicando acciones de destintado, de manera análoga.

En la actualidad, la industria de pulpa y papel aprovecha varias fuentes de papel recuperado, para producirlo con desempeño equivalente a las pulpas vírgenes en tipos como periódico y cartones corrugados; sin embargo, sigue sin reciclar fibras hasta la calidad que exigen los grados de impresión. El proceso de fabricación de cartón corrugado refina y fibrila las fibras, pero el de secado revierte esos efectos. La acción de un tratamiento químico adecuado puede restablecer, hasta cierto punto, el grado de hinchamiento y fibrilación (Headley, 1990).

Al tratar de contrarrestar la baja calidad de las fibras secundarias, se debe considerar que éstas difieren de las vírgenes porque, en la mayor parte de los casos, el material recuperado constituye una mezcla de diversos tipos de fibras y otros productos utilizados en las etapas de conversión, y las secundarias han soportado varias veces tratamientos mecánicos, de secado y de envejecimiento. De esta forma, su reciclado implica reacondicionar el material para que se parezca al original, es decir, a la fibra virgen. Algunos cambios ocurridos en el proceso de conversión de la fibra en papel son irreversibles; por esto, es imposible un completo reacondicionamiento del material fibroso (Jackson, 1994); los tratamientos con álcali o álcali y oxígeno proporcionan mejoras en las resistencias de diversos grados de papel; además, este proceso alcalino y un cierto grado de deslignificación pueden mejorar, en conjunto, las propiedades de las fibras secundarias, como la capacidad de hinchamiento, limpieza y eliminación de residuos (De Ruvo y Farnstrand, 1986; Headley, 1990).

Este trabajo pretende contribuir a corregir las bajas resistencias mecánicas a la explosión, tensión, doblez y rasgado de la pulpa de cartón desperdicio que contiene fibras largas en su composición, mediante la aplicación de una etapa de deslignificación alcalina, que permita eliminar la lignina, incrementando así tanto la flexibilidad y la capacidad de las fibras para formar enlaces interfibrilares como las propiedades de resistencia mecánica que se ven afectadas por el uso final y los actuales métodos de repulpeo y reciclado. Además, al eliminar la lignina residual de la pulpa de cartón y blanquearla mediante secuencias libres de compuestos clorados, se le da un mayor valor agregado y se abre la posibilidad de fabricar diversos productos de pulpa y papel a partir de cartón desperdicio.

Preparación y manejo de cartón desperdicio

El cartón desperdicio se recolectó en un centro de acopio de material reciclable; se eligió una corriente mezclada de cartón desperdicio compuesta de papel de sacos Kraft, y cartones americano y nacional, con el fin de contar, de manera representativa y homogénea, con el material que se encuentra en los basureros

y vertederos. Los materiales humedecidos se desfibraron a una consistencia de 10%, se determinó la humedad de la pulpa por el método gravimétrico de pérdida de peso y, posteriormente, se cuantificaron: rendimiento, número de Kappa o grado de deslignificación (TAPPI T 236 cm-85), cenizas en pulpa y el grado de refinación o molienda utilizando el método de Shopper Riegler (SCAN-M3:65) (Sanjuán, 1997) y el Canadian Standard Frenes (TAPPI T 227 om-94) (TAPPI, 2000).

Clasificación de fibras de cartón desperdicio

La clasificación de fibras de la pulpa de la mezcla (papel de sacos Kraft, cartones americano y nacional) se realizó de acuerdo con el método TAPPI T233-cm 82, que cuantifica la relación en peso de la longitud de las fibras de la pulpa. La determinación se hizo por duplicado en un clasificador tipo Clark.

Pulpeo a la sosa de cartón desperdicio

La lignina se eliminó mediante el proceso denominado a la sosa, que emplea como reactivo deslignificante una solución de hidróxido de sodio (NaOH). Este proceso se eligió debido a que la pulpa de cartón desperdicio posee características semejantes a las fibras de desechos agroindustriales procedentes de plantas anuales, como el bagazo de caña, es decir, con bajo contenido de lignina y una estructura abierta. Los tratamientos que se utilizaron fueron:

- 0 a 20% de carga de reactivos como NaOH con base en el peso seco de la pulpa (300 gr base seca)
- Hidromódulo o relación de baño 9:1
- Temperatura máxima de 170°C
- Tiempo a temperatura máxima de 0 a 90 minutos
- Máxima presión de trabajo de 7 Kg/cm².

Las cocciones se llevaron a cabo en un reactor presurizado de acero inoxidable de cuatro litros de capacidad, sobre la base de un diseño factorial para evaluar como variable respuesta la tasa o nivel (%) de deslignificación del material. Finalizado el tiempo de cocción para cada experimento, se transfirió la pulpa denominada "cartón-sosa" a un tamiz; cada pulpa resultante se lavó con agua cruda para separar el licor negro residual en su totalidad; a continuación se desfibró a una consistencia de 10% para eliminar los nodos o el material grueso; se tomaron muestras y se determinaron sus propiedades: humedad por pérdida de peso (%), rendimiento (%) y grado de deslignificación de acuerdo con la técnica TAPPI T 236 cm-85 y lignina Klason residual (T 222 om-88).

Blanqueo de pulpa de cartón-sosa

Las pulpas químicas sin blanquear obtenidas de la etapa anterior fueron demasiado oscuras para incorporarse en la elaboración de papeles blancos de calidad; y, debido al uso cada vez más restringido de compuestos clorados en el blanqueo de pulpas celulósicas y a la contaminación que estas secuencias provocan en el medio ambiente, fue necesario buscar alternativas como el blanqueo con oxígeno, peróxido u ozono, biBlanqueo, etc. Para el caso particular de la pulpa deslignificada de cartón desperdicio se emplearon las secuencias de blanqueo ODP (oxígeno, dióxido de cloro y peróxido) denominada secuencia ECF (libre de cloro elemental) y PEpP (peróxido, extracción alcalina oxidativa y peróxido) conocida como secuencia TCF (totalmente libre de compuestos clorados).

Propiedades de resistencia mecánica

Para caracterizar la calidad, capacidad de procesamiento y adaptabilidad de las pulpas celulósicas para varios usos finales, Sanjuán (1997) menciona que se utiliza una gran cantidad de métodos estandarizados de prueba en Europa y Norteamérica –entre otros, ISO, SCAN, TAPPI– para evaluar propiedades físicas de los productos de pulpa y papel como:

- * Propiedades físicas y de resistencia (tensión, explosión, rasgado y doblez)
- * Propiedades de superficie (lisura)
- * Propiedades ópticas (blancura, opacidad, brillo y color)
- * Permeabilidad a fluidos (agua, aceite y gases como aire)
- * Drenabilidad.

En el Cuadro 2 se muestran las técnicas de prueba para determinar las propiedades de las pulpas de cartón desperdicio, en todos los casos el peso base promedio de las hojas de pulpa fue de 60 g/m².

Propiedades de la materia prima

Las propiedades de la pulpa de cartón desperdicio se resumen en los cuadros 3 y 4.

En esta etapa del trabajo se comparó la pulpa de cartón desperdicio con la pulpa Kraft de madera blanda para evaluar la relación o porcentaje de sus fibras largas. La de cartón desperdicio (55.5%) justificó mejorar sus propiedades mediante una selectiva deslignificación y un posterior blanqueo, ya que puede convertirse en un sustituto ideal para las mezclas fibrosas de los diversos tipos de papel en los que se usa la pulpa Kraft de maderas blandas como fuente principal de fibra larga. En este sentido, el trabajo de Contreras *et al.* (1996)

Cuadro 2. Técnicas TAPPI utilizadas en la determinación de propiedades físicas de las pulpas.

Análisis	Técnica
Formación de hojas para pruebas físicas	T - 205 om - 88
Resistencia a la explosión (Índice de explosión)	T - 403 om - 91
Resistencia al rasgado (Índice de rasgado)	T - 414 om - 88
Resistencia a la tensión (longitud de ruptura)	T- 494 om - 88
Blancura	T - 218 om - 91
Resistencia al dobléz	T - 423
Grado de refinación (°S.R.)	SCAN-M3:65

Cuadro 3. Propiedades de pulpa de cartón desperdicio.

Propiedad evaluada	Valor
Rendimiento en repulpeo	84.8 %
Número de Kappa	93
Lignina Klason	13.95 %
Cenizas en pulpa	2.9 %
Grado de refinación	13 °S.R.
Grado de refinación	745 mL CSF

Cuadro 4. Clasificación de fibras de pulpa de cartón desperdicio y celulosa Kraft virgen.

Tamaño de malla (hilos/pul ²)	Mezcla (% retenido)	Kraft (% retenido)
30	55.5	81.1
50	17.7	6.6
100	10.2	5.4
200	4.0	0.9
>200	12.5	5.9

menciona que es necesario impulsar el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, con el fin de incrementar el ciclo de vida de los productos reciclados como el papel.

Pulpeo a la sosa de cartón desperdicio

Las condiciones de operación que se aplicaron y los resultados de la tasa o nivel de deslignificación de pulpa de cartón desperdicio se muestran en el Cuadro 5.

A medida que la carga de álcali se incrementó, fue posible notar una disminución en el contenido de lignina, manteniendo constante el tiempo de deslignificación en 30 min a temperatura máxima (170°C); con una carga de 13% de NaOH se logró un mínimo en el contenido de lignina; es decir, una caída en el número de Kappa de 58 unidades, para que después la tasa de deslignificación permaneciera en un nivel menor a mayores cargas de álcali. Lo mismo sucedió con el rendimiento, por lo que se realizó una serie de corridas en las que sólo se modificó el tiempo de cocción para determinar la máxima deslignificación (Cuadro 6).

La tasa de deslignificación llegó a su nivel máximo a 30 min de reacción del material a temperatura de 170°C, para mantenerse constante e, incluso, se apreció un aumento en el contenido de lignina residual (número de Kappa más elevado) y en el rendimiento, debido a la reprecipitación de la lignina sobre las fibras. Esto concuerda con los trabajos realizados por Gustafson (1996) y

Cuadro 5. Deslignificación alcalina de pulpa de cartón desperdicio. Hidromódulo 9/1. Tiempo a temperatura máxima (170°C): 30 min.

NaOH (%)	Núm. de Kappa	Rendimiento (%)	Lignina Klason residual (%)	Deslignificación (%)
0	93	100	13.95	0
3	64	91.8	9.6	31.4
5	58.5	87.4	8.8	37.3
7.5	52.8	82.2	7.9	43.4
10	45.5	80.4	6.8	51.2
13	34.8	74.2	5.2	62.7
15	31.6	73.7	4.8	66.1
17.5	29.2	70.8	4.4	68.7
20	27.1	68.1	4.1	71.0

Jackson (1994), quienes concluyeron que incrementar la carga de reactivos o prolongar los tiempos de deslignificación no resultaría en una deslignificación

posterior considerable, debido a la baja selectividad del reactivo de cocción (NaOH) en este punto de la reacción, por lo que la pulpa proveniente de dicha cocción con número de Kappa de 35 (nivel de deslignificación del 62.7%) debió llevarse a una etapa de blanqueo y a la posterior evaluación de sus propiedades de resistencia mecánica.

Blanqueo de pulpa de cartón-sosa

Para el blanqueo se emplearon las condiciones de reacción que se describen en el Cuadro 7.

Las pulpas blanqueadas mediante las secuencias ODP y PEpP presentaron las propiedades ópticas (TAPPI T218 om-91) que se detallan en el Cuadro 8.

Cuadro 6. Deslignificación alcalina de pulpa de cartón desperdicio. Hidromódulo 9/1. Temperatura máxima (170°C), 13% de NaOH.

Tiempo (min)	Núm. De Kappa	Rendimiento (%)	Lignina Klason residual (%)	Deslignificación (%)
0	93	100	14	0
5	76	84	11.4	18.6
15	62	81	9.3	33.5
30	35	74	5.2	62.7
45	37	74	5.5	60.3
60	40	76	5.6	60
75	42	77	5.8	60
90	53	79	7.9	43.6

La pulpa cartón-sosa sometida a un blanqueo ECF o TCF presentó propiedades de blancura aceptables, lo cual la convierte en una interesante opción reciclada de fibra larga que puede emplearse como sustituto parcial o total de pulpa virgen obtenida a partir de maderas blandas.

Propiedades de resistencia mecánica

A las pulpas blanqueadas y sin blanquear se les dio tratamiento mecánico de refinación en un molino Jokro y posteriormente se determinaron sus propiedades de resistencia mecánica de acuerdo con las normas TAPPI (TAPPI, 2000), las cuales se tabularon a un grado de refinación de 40°S.R. ó 300 mL C.S.F. para las pulpas sin blanquear y de 32°S.R. ó 400 mL C.S.F., en pulpas blanqueadas (Cuadro 9).

Al someter el cartón desperdicio a una etapa inicial de deslignificación alcalina por el proceso químico a la sosa, se incrementaron las propiedades mecánicas de resistencias al doblez, explosión, rasgado y tensión en relación con el material original, lo cual resultará benéfico cuando la pulpa celulósica, tanto

Cuadro 7. Condiciones de blanqueo para pulpa cartón-sosa.

Condiciones de blanqueo	Etapas de blanqueo						
	O	D	P	Q	P	Ep	P
Consistencia %	10	10	10	3	10	10	10
Temperatura °C	90	70	80	20	120	95	80
Tiempo de retención min	60	180	180	60	30	60	90
Núm. Kappa inicial	35	16	7	35	35	12	6
pH final	9.5	6	11	5	10	12	10
NaOH % en pulpa	3	-	3	-	3	2	2
H ₂ O ₂ % en pulpa	-	-	5	-	2	0.5	1.5
EDTA % en pulpa	-	-	-	1	-	-	-
MgSO ₄ % en pulpa	0.5	-	0.5	-	1	0.5	0.5
Na ₂ SiO ₃ % en pulpa	-	-	1.5	-	-	0.5	1
O ₂ Kg/cm ²	4	-	-	-	-	-	-
ClO ₂ % en pulpa	-	2.4	-	-	-	-	-

O = Oxígeno, D = Dióxido de cloro, P = Peróxido, Q = Etapa de quelación, Ep = Extracción alcalina oxidativa.

Cuadro 8. Propiedades ópticas de pulpas carta blanqueadas.

Secuencia de blanqueo	Blancura (%)	Blancura revertida (%)
ODP	80.1	78.8
PEpP	72	70.5

Cuadro 9. Propiedades de resistencia mecánica (normas TAPPI) de pulpas cartón-sosa.

Tipo de pulpa	Longitud de ruptura (metros)	Índice de explosión (kpam ² /g)	Índice de rasgado (mnm ² /g)	Resistencia al doblez (número de dobleces)
Cartón desperdicio original	6658	5.17	13.4	587
Cartón-sosa sin blanquear	8172	6.10	16.5	816
Cartón-sosa blanqueada ODP	6528	5.56	11.6	554
Cartón-sosa blanqueada PEpP	5653	4.20	9.87	497

blanqueada como sin blanquear, se incorpore a las mezclas papeleras, convirtiéndose así en un producto novedoso, útil y amigable con el medio ambiente, al darle valor agregado a la gran cantidad de cartón desperdicio que existe como basura en las ciudades y rellenos sanitarios.

CONCLUSIONES

La carga de reactivo de 13% de NaOH aplicado a la pulpa de cartón desperdicio permitió deslignificarla hasta un nivel máximo de 62.7% (número de Kappa 35). Esto mejoró la flexibilidad y la capacidad de unión interfibrilar, al eliminar la lignina residual presente en la pulpa e hizo posible restaurar gran parte de las propiedades originales de la pulpa de cartón desperdicio.

Con el tratamiento químico de deslignificación se lograron incrementar los valores de las propiedades de resistencia mecánica a la tensión (expresada como longitud de ruptura), explosión (índice de explosión o mullen), doblez y rasgado (índice de rasgado) de la pulpa original de cartón repulpeado.

Las secuencias de blanqueo permitieron obtener pulpa celulósica reciclada de fibra larga con blancuras de 80% para la secuencia ODP y 72% para la PEpP sin afectar al medio ambiente.

La pulpa obtenida podrá ser blanqueada mediante otras secuencias libres de cloro elemental (ECF) o totalmente libre de compuestos clorados (TCF) con propiedades aceptables de resistencia mecánica y un menor impacto ambiental.

Las pulpas blanqueadas pueden utilizarse de forma individual o con las de fibra corta (pulpa destintada o bagazo de caña) en la fabricación de papeles para impresión de calidad y empaques para contener alimentos, en virtud de que las condiciones tanto térmicas como químicas empleadas en este tratamiento la dejan aséptica.

El método propuesto en este estudio hace posible tener una fuente constante de fibra celulósica secundaria con mejores propiedades físicas que las obtenidas mediante los actuales sistemas de reciclado de papel y cartón.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un reconocimiento especial a todo el personal del Departamento de Madera, Celulosa y Papel "Ing. Karl Augustin Grellmann" de la Universidad de Guadalajara y en especial al doctor Rubén Sanjuán Dueñas por su apoyo decisivo en la realización de este estudio.

REFERENCIAS

- Avijit Dey, S. D. 1995. The current state of paper recycling. A global review IPPTA. 7(4):1-12.
- Cámara Nacional de las Industrias de Celulosa y Papel (CNICP). 2003. <http://www.cnicp.org.mx>.
- Conteras H. O., J. H. Anzaldo y J. R. Vargas. 1996. ¿Qué más se puede obtener del cartón viejo OCC?. Revista ACOTEPAC (30):35-41.
- De Ruvo, A. and P. A. Farnstrand. 1986. Upgrading of pulp from corrugated containers by oxygen delignification. Tappi Journal. 69(6):100-103.
- Gustafson, R. R. 1996. Manufacture of bleached pulp from recycled OCC linerboard. University of Washington. Pulping Conference TAPPI Press 885-894.
- Headley, E. 1990. Alkali soaking ups quality, yield of OCC used in boxboard furnishes. Pulp & Paper. 64(9):138-139.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2003. <http://www.inegi.gob.mx>.
- Jackson, M. and L. Ingemar. 1994. Croon bleached fiber from OCC. Tappi Journal 77(9):153-159.
- Lamas R., R. 1995. Reciclado: oportunidades y riesgos. ATCP. XXX (1):35-46.
- Nazhad M., M. and L. Paszner. 1994. Fundamentals of strength loss in recycled paper. Tappi Journal. 77(9):171-179.

- Sanjuán D., R. 1997. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Ágata Editores, México. pp. 235-243, 248-254.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industries. (TAPPI). 2000. Test Methods 2000-2001. Atlanta, GA. U.S.A. 257 p.