

NOTA TECNICA

Pulpa kraft blanqueada a partir de *Pinus tecunumanii*

Bleached kraft pulp of *Pinus tecunumanii*

LEONEL FERNANDO TORRES¹, ROBERTO MELO¹, JORGE LUIZ COLODETTE².

¹ Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
ltorresb@udec.cl, rmelo@diq.udec.cl

² Laboratorio de Celulosa y Papel, Universidad Federal de Viçosa, Viçosa MG-Brasil. colodette@ufv.br

SUMMARY

We evaluated use of 12 year-old *Pinus tecunumanii* (Eguiluz & Perry) grown in Colombia for bleached kraft pulp production. Kraft pulps of kappa number 30 ± 1 were produced, further oxygen delignified and bleached to 90% ISO with ECF processes. The bleached pulp produced under optimum conditions was evaluated regarding strength properties. *P. tecunumanii* wood required low effective alkali charge to reach the desired kappa number and the brown pulp showed high oxygen delignification efficiency and bleachability with sequences of the OD(EO)DED type. The bleached pulps showed good physical-mechanical properties, which are comparable to those obtained with more traditional pines such as loblolly and radiata. The results demonstrate that this tropical pine species is a suitable raw material for bleached kraft pulp production.

Key words: *Pinus tecunumanii*, kraft pulping, oxygen delignification, ECF bleaching.

RESUMEN

Se realizó la evaluación de la especie *Pinus tecunumanii* (Eguiluz y Perry) de 12 años proveniente de plantaciones de Colombia como un recurso para la producción de pulpa blanqueada. Se aplicó un proceso de pulpaje kraft, obteniendo pulpa con índice Kappa 30. Se deslignificó la pulpa con una y dos etapas de oxígeno para después ser blanqueadas con la tecnología ECF, alcanzando niveles de blancura de 90% ISO. Las pulpas blanqueadas producidas bajo óptimas condiciones fueron evaluadas en sus propiedades físico-mecánicas. *P. tecunumanii* requirió de baja carga de álcali para alcanzar el número kappa deseado y su pulpa cruda alta eficiencia en la deslignificación con oxígeno y blanqueabilidad con secuencias del tipo OD(EO)DED. La pulpa blanqueada mostró buenas propiedades físico-mecánicas, las cuales son comparables con aquellas obtenidas con árboles más tradicionales, como el pino radiata y pino taeda. Los resultados demostraron que esta especie de pino tropical es adecuada para la producción de pulpa kraft blanqueada.

Palabras clave: *Pinus tecunumanii*, pulpaje kraft, deslignificación con oxígeno, blanqueo ECF.

INTRODUCCION

La gran debilidad del sector papelerero colombiano ha sido la escasez de materia prima forestal, no obstante la ventaja comparativa debida a la posición tropical del país, la cual se traduce en un más rápido crecimiento de las especies maderables en relación con los países de las zonas tem-

pladas. Colombia cuenta con 145.000 hectáreas plantadas, de un total de 2,7 millones de hectáreas de tierras potencialmente reforestables. En comparación, otros países latinoamericanos disponen de áreas forestales varias veces superiores: Brasil posee 7 millones de hectáreas, Chile 2 millones de hectáreas, Argentina 770.000 hectáreas y Venezuela 530.000 aproximadamente.

Colombia no exporta celulosa y hasta ahora el comercio de pulpas nacionales es irrelevante. En la actualidad se produce solamente para el consumo interno. Es preocupante el hecho de que el crecimiento de la industria papelera pueda verse limitado por la falta de materias primas, especialmente por la falta de pulpa proveniente de especies de fibra larga.

El desabastecimiento de maderas de plantaciones en Colombia ha traído como consecuencia la poca disponibilidad de pulpa, lo que ha conducido a una permanente importación. Recientemente las importaciones de pulpa han sido estables, con 96.600 toneladas en 1999 y 105.300 toneladas en 2000. Adicionalmente, todo el papel periódico que se consume en Colombia es importado, a esto se suma el hecho de que la mitad de los requerimientos de celulosa para la industria papelera son suministrados por fibra reciclada, la cual se importa en un 12%.

Las especies que cubren los suelos reforestados en Colombia son: *Eucalyptus*, que cubre 26.800 hectáreas; Teca, con 4.000 hectáreas; el género *Pinus*, con 77.500 hectáreas, entre ellas el *Pinus tecunumanii*; otro tipo de coníferas, con 11.300 hectáreas, y otras especies, con 20.000 hectáreas. Estas plantaciones de coníferas en los Andes colombianos pueden ser raleadas después de ocho años para producción de pulpa (1). Muchas especies de pinos tropicales tienen la ventaja de usos múltiples, incluida la restauración de suelos erosionados, producción de madera aserrada, así como la producción de pulpa y papel ya sea por los métodos químicos o mecánicos. Sin embargo, muchas de estas especies no han sido estudiadas intensivamente (2).

Se tiene estimado que en la actualidad existen alrededor de 10.000 hectáreas de *P. tecunumanii* establecidas a nivel mundial. La mayoría se encuentra en el centro de Brasil, la costa este de Sudáfrica y en el noreste del Departamento de Antioquia y sureste del Departamento del Cauca en Colombia, ambas en la región andina, llegándose a estimar que pueden existir alrededor de 2.500 hectáreas plantadas con *P. tecunumanii* en Colombia.

En cuanto a la calidad de la pulpa de *Pinus tecunumanii*, son muy pocos los estudios que se han realizado a esta especie. Estos muestran que no existe mucha diferencia entre el contenido de lignina entre el *P. tecunumanii* y otras coníferas

utilizadas en Colombia y Sudáfrica para la producción de celulosa (3, 4).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el potencial del *P. tecunumanii* crecido en Colombia, como un recurso para la fabricación de celulosa kraft blanqueada.

MATERIAL Y METODOS

Muestras de *P. tecunumanii* fueron seleccionadas de una plantación 12 años ubicada en el Municipio de Yolombó, noreste antioqueño en Colombia, con una densidad de 1.060 árboles por hectárea. Esta plantación está ubicada a una altitud de 1.440 m, con una temperatura promedio de 21°C y precipitaciones de 2.200 mm.

Se realizó un muestreo utilizando una parcela circular de 25 metros de diámetro. Midiendo todos los árboles de la parcela y obteniendo su DAP promedio (21,24 cm), con una altura promedio de 21,44 m. Se escogieron 5 árboles con diámetro promedio. De cada árbol se tomaron tres trozas de 1 metro de longitud a tres alturas: altura basal, mitad de la altura comercial y altura comercial (diámetro 10 cm). Las trozas fueron astilladas y clasificadas, se secaron hasta obtener un contenido de humedad del 20% aproximadamente.

Se determinó la densidad de las astillas empleando la norma TAPPI 258 om-94. Igualmente se determinó la longitud de la fibra en la madera, diámetro de la pared, diámetro del lumen y espesor de pared, mediante el uso de un microscopio óptico.

El pulpaje kraft fue realizado en un digestor M/K de 4,7 litros de capacidad, con circulación forzada y calentamiento directo de lejía. Las condiciones de pulpaje utilizadas fueron: sulfidez 30%, relación licor/madera 4:1, tiempo hasta temperatura máxima de 90 minutos y una temperatura máxima de 170°C. La concentración de álcali efectivo y el tiempo a temperatura máxima variaron entre 13% y 18% Na₂O, y entre 40 y 70 minutos respectivamente hasta alcanzar un número kappa 30±1. El número kappa fue determinado de acuerdo a la norma TAPPI T 236 om-85. La pulpa fue lavada, tamizada y pesada para determinar su rendimiento.

Las pulpas fueron deslignificadas con una y doble etapa de oxígeno (O y OO), utilizando un reactor/mezclador Quantum Mark V, con capaci-

dad de 3,6 litros, utilizando muestras de 300 g (b.p.s.) de pulpa en cinco repeticiones y blanqueadas empleando la tecnología ECF con dos secuencias cada una (DEoDED y DEopDED), en condiciones que se observan en los cuadros 1 y 2. El blanqueo con dióxido de cloro fue realizado en sacos de polietileno con muestras de 260 g para la primera etapa y 160 g para las etapas D₁ y D₂. Las etapas de extracción oxidativa con oxígeno (Eo y Eop) fueron realizadas en un reactor Quantum Mark V protegido con teflón, con muestras de 260 g (b.p.s.) de pulpa. Todas las etapas de blanqueo fueron realizadas en duplicado y las muestras fueron lavadas con agua destilada en exceso. Las dosis de los reactivos son expresadas en porcentajes de pulpa seca.

CUADRO 1

Condiciones generales de la deslignificación con oxígeno.

Single (O) and double (OO) stage oxygen delignification conditions.

Condiciones	O	(OO)
Consistencia (%)	10	10
Temperatura (°C)	90	90+95
Tiempo (min)	35	15+45
Presión inicial (kPa)	600	600
NaOH (kg/t)	34,8	34,8+19,5
MgSO ₄ ·7H ₂ O (kg/t)	1	5

Se analizaron las propiedades físico-mecánicas para las pulpas blanqueadas sin refinar y a 4.000, 6.000 y 8.000 revoluciones, utilizando un refinador de laboratorio PFI según la norma TAPPI 248 sp-00. Se formaron hojas de laboratorio según la norma TAPPI T 205 sp-95. Las propiedades de resistencia de las hojas fueron analizadas usando las normas TAPPI.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características morfológicas y químicas de la madera. Los valores de las dimensiones de las fibras se encuentran en el cuadro 3. Los resultados muestran que el *P. tecunumanii* presenta una densidad alta para una edad de 12 años entre las coníferas (466 kg/m³). Estudios realizados en Brasil (12 años) y en Colombia (8 años) con árboles de la misma especie encontraron densidades promedio de 445 kg/m³ y 361 kg/m³ respectivamente (3). También presenta densidad superior cuando se compara con otras especies del género *Pinus*, utilizadas para la producción de pulpas celulósicas, tales como el *Pinus taeda* y *Pinus radiata*, los cuales alcanzan valores promedios de 370 kg/m³ y 400 kg/m³ respectivamente. Su alta densidad está directamente relacionada con un mayor espesor de pared (9,48 μm), y un menor diámetro del lumen (32,96 μm), esto se deriva en una gran resistencia al colapso, ya que las fibras son más rígidas manteniendo su forma original (tubular),

CUADRO 2

Condiciones generales de blanqueo.
General bleaching conditions.

Condiciones de Blanqueo	Etapas de Blanqueo					
	D ₀	Eo	Eop	D ₁	E	D ₂
Consistencia (%)	11	11	11	11	11	11
Tiempo (min)	45	20+45	20+45	150	15	180
Temperatura (°C)	65	85	85	70	70	70
Factor Kappa (FK)	0,24	—	—	—	—	—
NaOH (kg/t)	—	11,5	11,5	—	2	—
O ₂ (kg/t)	—	3	3	—	—	—
H ₂ O ₂ (kg/t)	—	—	2	—	—	—
MgSO ₄ ·7H ₂ O (kg/t)	—	—	—	—	—	—
Presión de O ₂ (kPa)	—	200	200	—	—	—

lo cual no contribuye a los enlaces entre fibras. Los valores encontrados en la composición química de la madera se consideran normales dentro del rango de las coníferas.

CUADRO 3

Parámetros físicos y químicos de las fibras de madera de *P. tecunumanii*.
Physical and chemical parameters of wood fibers of *P. tecunumanii*.

Parámetros	Valor
Densidad (kg/m ³)	466
Longitud de fibra (mm)	3,96
Diámetro de fibra (μm)	51,93
Diámetro del lumen (μm)	32,96
Espesor de Pared (μm)	9,48
Holocelulosa (%)	76,3
Lignina (%)	27,55
Extraíbles (%)	2,96

Pulpaje kraft. En la figura 1 se puede observar el comportamiento de las variables número kappa y rendimiento clasificado (%). La figura muestra que a los valores a los cuales el número Kappa alcanza un valor de 30 son 16% de álcali efectivo como Na₂O y a 40 minutos de tiempo a temperatura máxima. Este valor de álcali es inferior a los requeridos por otras especies de *Pinus* tropicales, para alcanzar el mismo número Kappa. *Pinus patula* y *Pinus maximinoii* requirieron 18,5% y

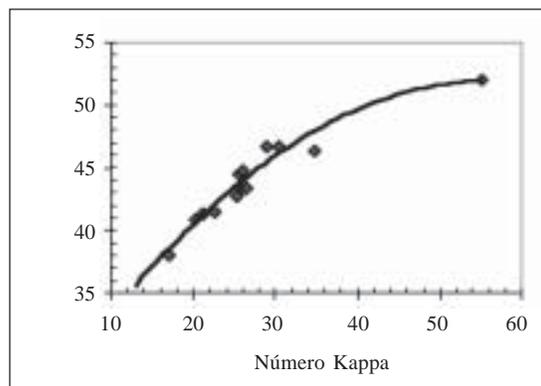


Figura 1. Número Kappa en función del rendimiento clasificado (%) para pulpa kraft proveniente de *Pinus tecunumanii*.

Kappa number as a function of the screened pulp yield (%).

19,1% de álcali efectivo como Na₂O respectivamente (2).

Otros de los parámetros evaluados en la pulpa marrón fueron viscosidad, blancura, ácidos hexenurónicos y el contenido de metales; los resultados de todos estos se muestran en el cuadro 4. En relación al contenido de metales se puede notar que los valores en Fe (76,90 ppm) y en Cu (23,76 ppm) son superiores a los encontrados en otras coníferas. En pulpas kraft provenientes de mezclas de *P. ellioti* y *P. taeda*, el contenido de hierro y cobre fueron de 23 y 3,3 ppm respectivamente (5). El mayor valor alcanzado por estos metales puede ser ocasionado por procesos de corrosión en el digestor utilizado para el pulpaje, entrar a través del agua utilizada en el proceso o también por el mayor contenido de estos metales en el suelo de la plantación de la cual provienen las muestras, debido a que está se encuentra ubicada en una zona minera en Colombia.

CUADRO 4

Características de la pulpa kraft de *Pinus tecunumanii*.
Characteristics of kraft pulp produced from 12 year-old *P. tecunumanii*.

Parámetro	Valor
Número Kappa	30
Viscosidad (cP)	34
Blancura (%ISO)	23
Ac. Hexenurónicos (mmol/kg)	20
Metales (ppm):	
Fe	76
Cu	23
Mn	7
Ca	1.036
Mg	210

Deslignificación con oxígeno. Los resultados obtenidos en las secuencias de deslignificación con una y dos etapas de oxígeno se muestran en el cuadro 5. Se puede observar una deslignificación del 62% en las pulpas sometidas a doble etapa de oxígeno, la cual es superior a la deslignificación en las pulpas sometidas a una sola etapa (41,67%). Estos valores están dentro del rango considerado adecuado para procesos de doble etapa aplicados

CUADRO 5

Resultados obtenidos en los procesos de deslignificación con oxígeno (secuencia O y secuencia OO).

Oxygen delignification results (Single and double stage oxygen delignification).

Resultados	Secuencia	
	O	OO
Número Kappa	17,5	11,4
Viscosidad (mPa.s)	21,1	14,7
Δ Kappa (%)	41,7	62,0
Δ Viscosidad (%)	37,9	56,8
Selectividad	1,1	1,09
Blancura (%ISO)	29,8	35,4
Rendimiento (%)	97,1	96,2

Viscosidad inicial: 34 cP; I. Kappa: 30; Blancura: 23,18%ISO.

a pulpas kraft de pino encontrados por varios autores (6-9). No hay diferencia en la selectividad entre ambas secuencias. Esta selectividad en la deslignificación con oxígeno está relacionada con la tasa de remoción de lignina y con una disminución en la tasa de degradación de carbohidratos (10). Los metales de transición son importantes con respecto a la selectividad de las reacciones en la deslignificación con oxígeno, ya que las reacciones que catalizan los radicales degradan tanto lignina como celulosa, ocasionando reacciones de depolimerización y, como consecuencia, una pérdida en la resistencia de la pulpa (9,11). Se observa una pérdida mayor en la viscosidad para la

secuencia OO (56,76%). La pérdida de viscosidad se debe a la depolimerización de los carbohidratos, resultado de las hidrólisis de los enlaces β -glicosídicos. También se puede observar una mayor ganancia en blancura para la secuencia OO.

Blanqueo ECF. Los resultados del blanqueo ECF, hasta alcanzar una blancura entre 90 y 90,3% ISO de las pulpas de *P. tecunumanii* sometidas a las secuencias OD₀EoD₁ED₂, OD₀EopD₁ED₂, OOD₀EoD₁ED₂ y OOD₀EopD₁ED₂, se presentan en el cuadro 6.

Los resultados muestran que la secuencia que presentó un menor consumo de dióxido de cloro fue la OODEopDED, la cual alcanzó hasta un 44,23% menos que las otras secuencias. Esta tuvo una menor viscosidad, pero aceptable dentro de los límites requeridos por la industria papelera. Comparando los resultados entre aquellas sometidas a la misma secuencia de deslignificación, las pulpas en las cuales se utilizó peróxido de hidrógeno, tuvieron menos viscosidad final. Esto pudo ser ocasionado debido a que una de las reacciones que tiene el peróxido con la pulpa se produce en presencia de metales de transición, tales como Cu, Fe y Mn, conduciendo a la formación de los radicales hidroxilo (HO·) y superóxido (·O₂⁻). La descomposición del peróxido en especies intermedias, incluidos estos radicales, no ayudan al efecto blanqueante y causa el rompimiento de las cadenas celulósicas (9-14).

Propiedades físico-mecánicas y ópticas. Las pulpas blanqueadas fueron refinadas para evaluar sus propiedades físicas. Todas las propiedades obte-

CUADRO 6

Resultados del blanqueo ECF entre 90 y 90,3% ISO de las pulpas de *P. tecunumanii*.

Results of bleaching *P. tecunumanii* kraft-O pulps between 90% and 90,3% ISO.

Secuencia	ClO ₂ ^(*) (kg/tas)	H ₂ O ₂ ^(*) (kg/tas)	Viscosidad (mPa.s)	Blancura (%ISO)	Reversión (%ISO)	Rendimiento (%)	Rendimiento Total (%) ^(**)
ODEoDED	101,97	0	15,3	90,0	3,1	98,23	95,3
ODEopDED	86,97	2	13,8	90,1	3,1	98,05	95,1
OODEoDED	70,36	0	12,2	90,3	2,6	97,85	94,1
OODEopDED	56,86	2	11,0	90,0	2,3	97,03	93,3

* Consumo de reactivos.

** Rendimiento de O₂ + Blanqueo.

nidas en cada grado de refinación fueron representadas en función del índice de tensión, el cual se escoge para relacionar las demás propiedades debido a que se trata de una de las propiedades más exigidas para producir papeles para diversas finalidades, haciendo énfasis en un valor determinado previamente (45 N.m/g). La resistencia a la tracción es controlada por varios factores, como la resistencia individual de las fibras, la longitud de la fibra, la formación y estructura de la hoja (15). La resistencia individual de la fibra es controlada por otros parámetros, tales como el ángulo fibrilar, contenido de celulosa y los defectos en la estructura de la fibra

Las figuras 2, 3, 4 y 5 muestran el índice de rasgado, índice de explosión, la energía de absor-

ción de tensión (TEA) y la opacidad en función del índice de tensión (N.m/g) para las pulpas blanqueadas con cuatro secuencias. Los máximos valores en el índice de rasgado son alcanzados rápidamente a bajos niveles de refinación. Esto implica que no es necesaria una refinación adicional para alcanzar los valores deseados.

Las pulpas que fueron tratadas con una sola etapa de deslignificación con oxígeno presentan valores superiores en el índice de explosión y TEA, y son también más fáciles de refinar; puede ser ocasionado por un menor daño en las paredes de las fibras. Hay una tendencia en aquellas pulpas que tuvieron un reforzamiento con peróxido a presentar una menor drenabilidad. Es posible que la acción del peróxido cause un ablandamiento en

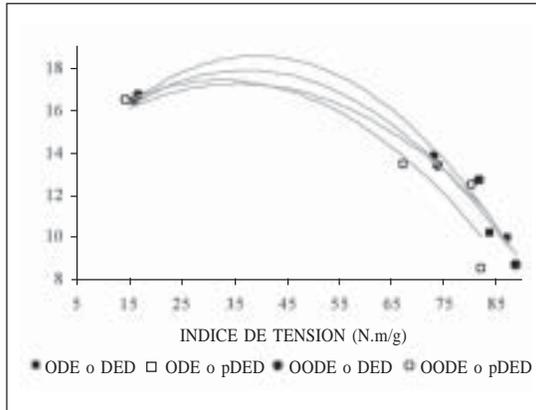


Figura 2. Índice de rasgado ($\text{mN.m}^2/\text{g}$) de las pulpas blanqueadas de *Pinus tecunumanii*.
 Tear index ($\text{mN.m}^2/\text{g}$) of the bleached pulps.

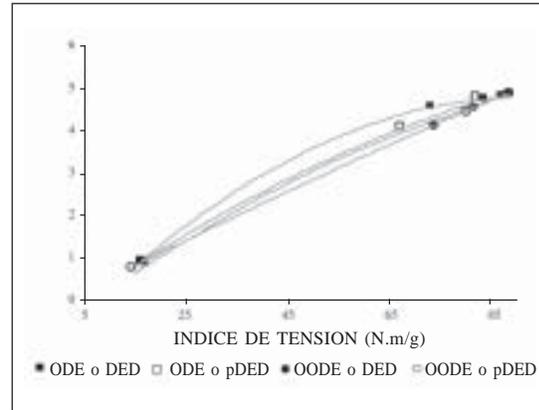


Figura 3. Índice de explosión ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$) de las pulpas blanqueadas de *Pinus tecunumanii*.
 Burst index ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$) of the bleached pulps.

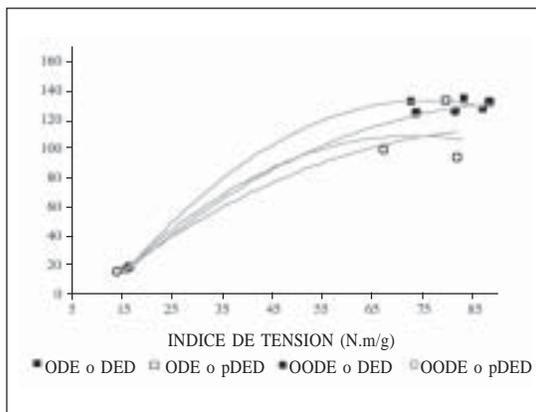


Figura 4. Absorción de energía (TEA, J/m^2) de las pulpas blanqueadas de *Pinus tecunumanii*.
 Energy absorption (TEA, J/m^2) of the bleached pulps.

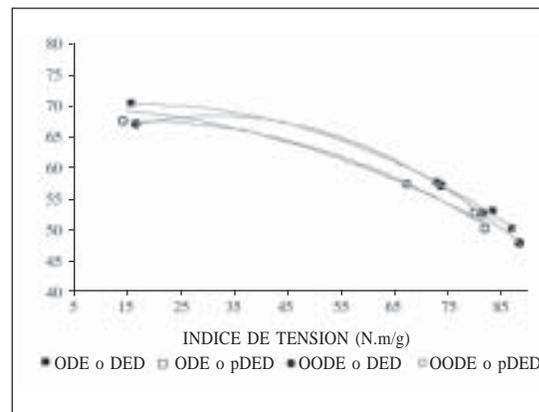


Figura 5. Opacidad (%) de las pulpas blanqueadas de *Pinus tecunumanii*.
 Opacity (%) of the bleached pulps.

la pared celular de las fibras, logrando una mayor compactación en la formación de la hoja. Estas propiedades están fuertemente correlacionadas con la capacidad de enlaces interfibras. La resistencia a la tensión es controlada por varios factores, como la resistencia individual de las fibras, la longitud de la fibra, la formación y estructura de la hoja (15).

En cuanto a la opacidad, se observa un comportamiento similar para todas las pulpas. La opacidad disminuyó con el aumento del índice de tensión para todas las pulpas. Además de tener mayor cantidad de lignina, la pulpa cruda posee inferior densidad aparente a las demás pulpas.

Además de remover parte de la lignina residual, los efectos destructivos en las cadenas de celulosa y hemicelulosas durante la deslignificación con oxígeno provocan un ablandamiento en la pared celular, volviendo las fibras más flexibles y favoreciendo una mejor compactación en el momento de formación de la hoja. Este fenómeno reduce los espacios con aire al interior de la hoja, ocurriendo una disminución de las interfaces de refracción de luz y consecuentemente una reducción de la opacidad. Pulpa no refinada y con mayores número de fibras por gramo posee mayores coeficientes de dispersión de luz; entretanto, esta propiedad es inversamente proporcional al grado de refinación de la pulpa.

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluaron las características pulpables de la especie *Pinus tecunumanii* (Eguiluz y Perry), de las cuales se puede concluir lo siguiente:

- El *P. tecunumanii* presenta características morfológicas (densidad, longitud de fibra, espesor de pared) superiores a otras coníferas utilizadas en la producción de celulosa kraft, las cuales son buenas para la producción de papeles de alta resistencia.
- En el pulpaje kraft, su rendimiento clasificado fue satisfactorio, además de requerir menos cantidad de álcali efectivo y tiempo a la temperatura máxima que otras coníferas, para alcanzar un índice Kappa 30.
- La pulpa de *P. tecunumanii* mostró un buen comportamiento en la eficiencia en la deslignificación con doble etapa de oxígeno, aunque presentó una baja selectividad en las secuencias con una y doble etapa de oxígeno.

nificación con doble etapa de oxígeno, aunque presentó una baja selectividad en las secuencias con una y doble etapa de oxígeno.

- La pulpa de *P. tecunumanii* presentó buena blanqueabilidad cuando fue sometida a una secuencia OODEopDED, en la cual alcanzó niveles de blancura de 90% ISO con un menor consumo de ClO_2 .
- Las pulpas blanqueadas a distintas secuencias presentan un comportamiento similar en sus propiedades físicas y mecánicas, a pesar de tener distintos valores de viscosidad.

En términos generales, los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la madera de *Pinus tecunumanii* (Eguiluz y Perry) presenta buenas características morfológicas y tecnológicas para la producción de celulosa kraft cruda y celulosa kraft blanqueada, haciendo de esta especie una opción de materia prima para la industria colombiana de pulpa y papel

BIBLIOGRAFIA

- (1) DVORAK, W.S., G.R. HODGE, E.A. GUTIERREZ, *et al.* *Pinus tecunumanii*. In: *Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative*. College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA, 2000, p: 188-209.
- (2) RIGHT, J.A., SABOURIN, M.J., DVORAK, W.S. Laboratory results of TMP and CTMP trials with *Pinus patula*, *P. tecunumanii* and *P. caribaea* var. *hondurensis*. *Tappi J.*, 1995, vol. 78, N° 1, p. 91-96.
- (3) WRIGHT, J.A., JAMEEL, H., DVORAK, W. Laboratory kraft pulping of juvenile tropical pines: *Pinus patula*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi*, and *P. chiapensi*. *Tappi Journal*, 1996, vol. 79, N° 4, p. 187-191.
- (4) GOMES DA SILVA, FRANCIDES., BARRICHELO, LUIZ ERNESTO., SHIMOYAMA, VANILDA., SOUZA W., MARCELO. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus patula* var. *tecunumanii* visando a produção de celulose kraft e pasta mecânica. *O Papel*, 1994, Julio, p. 32-35.
- (5) SALOMÃO, K.G. Características e branqueabilidade de polpas kraft/Polissulfeto de *Eucalyptus* e de *Pinus*. M.Sc. Tesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, 2001. p. 112.
- (6) POUKKA, O., ISOTALO, I., AND GULLINCHSEN. Optimal delignification degrees of cooking and oxygen/alkali stage in production of ECF bleached softwood kraft. *J Paperi Puu*, 1999, vol. 81, N° 4, p. 316-324.
- (7) SHACKFORD, L., SULLIVA, P., AND COLODETTE, J.L. Otimização da tecnologia de deslignificação com oxigênio, In: 2° Seminario de deslignificação. *ABTCP*. São Paulo, Brasil. 1999, p. 1-16.
- (8) SALVADOR, E. Efecto de Deslignificação com Oxigênio nas Propiedades Físico-Mecánicas de Pulpas Kraft, M.Sc. Tesis, Universidad Federal de Viçosa. Viçosa-MG, Brasil, 2000.

- (9) SOINII, P., JAKARA, J., KOLJONEN, J., Effect of transition metals on oxygen delignification and peroxide bleaching. *Paperi Puu*, 1998, vol. 80, N° 2, p. 116-121.
- (10) McDONOUGH, T.J. Oxygen Delignification. In: DEN-CE, C.W., REEVE, D.W. *Pulp Bleaching. Principles and Practice*, TAPPI PRESS, Atlanta, 1996, p. 215-239.
- (11) BROWN, G. DAWE, R. Effects of metal ions on oxygen delignification of kraft pulp. In: *TAPPI 1996 International pulp bleaching conference*, TAPPI PRESS, Washington D.C, 1996, p. 383.
- (12) JOHNSON, S. Optimal use of hydrogen peroxide. *Tappi Journal*, 1994, vol. 77, N° 7, p. 262-265.
- (13) HOBBS, G., ABBOT, J., The role of radical species in peroxide bleaching processes. *Appita*, 1992, vol. 45, N° 5, p. 344-348.
- (14) LACHENAL, D., DE CHOUDENS C., MONZIE P., Hydrogen peroxide as a delignifying agent. *Tappi Journal*, 1980, vol. 63, N° 4, p. 119-122.
- (15) HARTLER, N. Present and future of kraft pulping. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 1997, vol. 12, N° 2, p. 115-118.

Recibido: 09.09.03

Aceptado: 24.08.04