

PULPEO KRAFT EN *Eucalyptus robusta* Sm, DE UNA PLANTACIÓN EXPERIMENTAL EN MORELIA, MÉXICO

Ulises Trujillo-Jiménez¹, José de Jesús Vargas-Radillo², José de Jesús Rivera-Prado², Rubén Sanjuán-Dueñas², Jorge Luiz Colodette³, José Guadalupe Rutiaga-Quiñones^{*4}.

¹Estudiante del Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

²Departamento de Madera, Celulosa y Papel "Ing. Karl Augustin Grellmann". Universidad de Guadalajara.

³Laboratório de Celulose e Papel. Universidade Federal de Viçosa, MG. Brasil.

⁴Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Apartado Postal 580. C.P. 58000 Morelia, Michoacán, México.

rutiaga@zeus.umich.mx

INTRODUCCIÓN

El pulpeo químico es uno de los principales procesos de transformación química de la madera, cuyo objetivo es la eliminación de la lignina para luego fabricar papel con el material celulósico restante. En México la industria de la celulosa utiliza principalmente madera del género *Pinus* y del género *Quercus*, además del bagazo de caña de azúcar [1]. Se reporta que desde los años 90's se ha tenido, en menor o mayor grado, problemas de abastecimiento de madera y que una solución sería la implementación de plantaciones forestales comerciales con maderas de eucalipto [2], así paulatinamente se han iniciado con esta actividad; un ejemplo son los estados de Tabasco, Guerrero, Veracruz, Nayarit y Michoacán. Algunas experiencias indican que la pulpa celulósica obtenida de especies de eucalipto es de buena calidad [3], [4]. De ahí la importancia de realizar el trabajo de pulpeo Kraft con la madera de *Eucalyptus robusta*, procedente de la plantación experimental de la industria de celulosa y papel Crisoba Industrial, planta Morelia.

METODOLOGÍA

Se derribó un árbol de *Eucalyptus robusta* Sm, de una plantación forestal experimental propiedad de la empresa Crisoba Industrial, S. A. de C. V., planta Morelia, en Morelia, Michoacán, México. Del árbol derribado se obtuvieron del fuste comercial 2 trozas de 1.2 m de longitud, la primera después del tocón (abajo) y la segunda antes de que se bifurcara el árbol (arriba), se descortezaron de forma manual, se astillaron en el equipo industrial de la planta y la astilla se clasificó en una zaranda de laboratorio.

La obtención de la pulpa se realizó en dos etapas. En la primera, se aplicó un diseño

experimental factorial (2x2x2) [5], con factores: Zona (arriba-abajo), tiempo de cocción (120,150min) y carga de reactivos (14,15.5%) y en la segunda un diseño experimental 2^k [5], tomando los factores: tiempo de cocción (120,150min) y carga de reactivos (14,15.5%). Las variables de respuesta y las constantes fueron las mismas en ambas etapas; variables de respuesta: Rendimiento, No. de Kappa y Rechazos; constantes: relación de baño (4:1), sulfidez (18%), álcali activo (100g/L) y temperatura (160°C). Los resultados se analizaron a 95% de confianza estadística, mediante el programa Statgraphics Plus versión 4.0.

Para el blanqueo se aplicaron dos secuencias por separado, una en la que se usó cloro (CDEpPD) y otra totalmente libre de cloro (OAZEopPP). El pH, el consumo de reactivos y el No. de Microkappa fueron los parámetros de control.

Se formaron hojas estándar de pulpa, sin blanquear y blanqueadas, en un equipo TAPPI semiautomático, acuerdo al método TAPPI 205 sp-95 [6] y para la evaluación físico-mecánica se determinaron el índice de explosión, índice de rasgado, largo de ruptura, blancura, porosidad y doblez, de acuerdo a las normas TAPPI [6].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera etapa de pulpeo, el análisis de varianza indica que ninguno de los factores probados en sus niveles ocasionó diferencia estadística significativa sobre el rendimiento, No. de Kappa y cantidad de rechazos. Resultados iguales se obtuvieron al pulpear *Eucalyptus saligna*, bajo las mismas condiciones aplicadas en esta estudio [7]. Por otra parte, resultados similares se han reportado para el caso de pulpeo Kraft en *Eucalyptus camaldulensis*, proceso llevado bajo las mismas condiciones aquí probadas, donde solamente el factor zona fue estadísticamente significativo [8]. Sin embargo, en los resultados del presente trabajo, se observó que a mayor carga de reactivos, el No. de Kappa disminuyó, lo que puede explicarse por la mayor deslignificación que ocurre a mayor carga, lo que repercute en el No. de Kappa, que indica el grado de deslignificación de la madera [9].

En la segunda etapa de pulpeo, los mejores resultados para el rendimiento se obtuvieron con un tiempo de 120min y carga de 14.0%, alcanzando un rendimiento de 46.96 % como puede apreciarse en la figura 1. El rendimiento aquí alcanzado es mayor al que se reporta para la madera de *Eucalyptus saligna* (39.7%) [7] y al reportado para *E. camaldulensis* (35.1%) [10], pulpas Kraft que se obtuvieron bajo las mismas condiciones de operación aquí utilizadas.

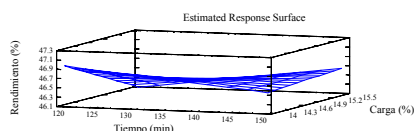


Figura 1. Superficie de respuesta para rendimiento

Para minimizar el No. de Kappa, las mejores condiciones resultaron ser, tiempo de 120min y carga de 15.5%, dando un valor de 19.2 (Fig. 2). Este valor del No. de Kappa es menor al que se encontró al obtener pulpa Kraft de *E. saligna* (23.2) con 150min y 15.5% de carga de reactivos [7] y al reportado para *E. camaldulensis* (24.1), en pulpa cocida bajo las mismas condiciones del presente trabajo [10]. Esto refleja en parte, la influencia probable de la propia composición química de las especies.

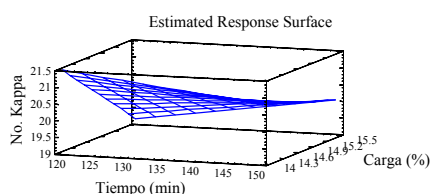


Figura 2. Superficie de respuesta para No. de Kappa

Como puede verse en la figura 3, el menor por ciento de rechazos (0.53%) se consiguió con 150min de cocción y una carga de 14.0%, siendo estas las condiciones óptimas para minimizar los rechazos.

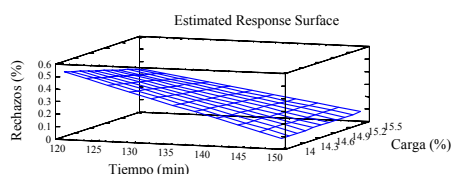


Figura 3. Superficie de respuesta para rechazos

El resultado del blanqueo de la pulpa Kraft sin refinar aparece en la tabla 1. Se puede apreciar que la mayor blancura fue con la secuencia con cloro (86.36%), lo que indica que la pulpa no fue sensible a los reactivos de blanqueo libre de cloro, pues sólo se logró un grado de blancura de 46.96%. Un comportamiento similar se obtuvo al blanquear pulpa Kraft de *E. camaldulensis*, aplicando las mismas secuencias de blanqueo que aquí se experimentaron, cuyos resultados fueron una blancura de 87.3% con la secuencia clorada y de 82.0% para la secuencia libre de cloro [11], estos valores de blancura son superiores a los alcanzados en este estudio. En otro caso, donde con las mismas secuencias de blanqueo se trató pulpa Kraft de *E. saligna*, el

grado de blancura alcanzado con la secuencia clorada fue de 85.5% y de 86.9% libre de cloro [12]; estas diferencias en los resultados pudiera deberse a la propia composición química de las pulpas celulósicas.

Tabla 1. Blanqueo de las pulpas Kraft

Secuencia de blanqueo	Blancura FR 457 nm (%)
Sin blanquear	25.38
Con cloro	86.36
Libre de cloro	79.77

Las propiedades de resistencia evaluadas en las pulpas blanqueadas aparecen en la tabla 2. Los valores de largo de ruptura y de índice de explosión fueron mayores en la secuencia libre de cloro, lo que indica que en la secuencia con cloro, probablemente hubo degradación del polímero de la celulosa y esto se refleja en una pérdida de la resistencia. Resultados semejantes se encontraron en la pulpa Kraft de *E. camaldulensis* [11] y de *E. saligna* [12], también blanqueadas con las dos secuencias de blanqueo aquí aplicadas, notando la diferencia en mayores valores de tensión, índice de rasgado e índice de explosión en la secuencia libre de cloro

Tabla 2. Propiedades de resistencia en las pulpas

Propiedad	Sin blanquear	Con cloro	Libre de cloro
LR (m)		181.9	251.6
IE (kPa.m ² /g)	0.20	0.45	0.61
IR (Nm.m ² /g)	2.19	2.56	2.53
P (s/100mL)	1.0	1.0	1.1

Notación:

LR = largo de ruptura

IE = índice de explosión

IR = índice de rasgado

P = porosidad

CONCLUSIONES

En la primera etapa de pulpeo, de acuerdo al análisis estadístico, ninguno de los factores tuvo influencia significativa estadística sobre las variables de respuesta.

Para maximizar el rendimiento, las condiciones óptimas del proceso fueron tiempo de 120min y carga de 14.0%, alcanzando un rendimiento de 46.96%.

Para minimizar el No. de Kappa, las óptimas condiciones de pulpeo fueron: tiempo de 120min y carga de 15.5%, dando un valor de 19.2.

El efecto de los niveles probados en la cocción fueron no significativo para la cantidad de rechazos.

Con la secuencia clorada el grado de blancura alcanzado fue mayor (86.36%) que con la secuencia libre de cloro (79.77%).

En general, las propiedades de resistencia fueron mejores en la pulpa blanqueada con la secuencia libre de cloro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen profundamente a los Fondos Mixtos del CONACYT-Gobierno de Michoacán el apoyo al proyecto JGRQ-12450 (2003-2006), al Departamento de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara y a la Empresa Crisoba Industrial, S. A. de C. V., planta Morelia.

REFERENCIAS

[1] CNICP (2001) Cámara Nacional de las Industrias de Celulosa y Papel. Memoria estadística. México.

[2] Macias-Díaz JE (1993) Alternativas para el establecimiento de plantaciones forestales para la producción de material celulósico en el Estado de Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 40p.

[3] FAO (1981) El eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO: Montes. No. 11. Roma.

[4] Montoya Oliver JM (1995) El eucalipto. Ediciones Mundi-Prensa. España.

[5] Montgomery DC (1991) Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

[6] TAPPI (2000) Test Methods TAPPI Press. Atlanta.

[7] Rutiaga Quiñones JG, Gabriel Parra R, Castillo Maciel LG, Vargas Radillo JJ, Sanjuán Dueñas R (2005) Pulpeo kraft en Madera de *Eucalyptus saligna*. DEFORS 2005. Comisión No. 1. Trabajo No. 23. II Taller de Tecnología de la Madera y Productos Forestales. La Habana, Cuba. Memorias en CD. 1-6.

[8] Ortega Mora JR, Vargas Radillo JJ, Vega Elvira R, Castillo Maciel LG, Sanjuán Dueñas R, Rutiaga Quiñones JG (2005) Proceso de Pulpeo kraft utilizando madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. XXVI Encuentro Nacional AMIDIQ. Acapulco, México. Memorias en CD. 1-5.

[9] Casey JP (1990) Pulpa y Papel.- Química y Tecnología Química. Vol. I. LIMUSA. México.

[10] Ortega-Mora JR (2005) Obtención de pulpa Kraft a partir de madera de *Eucalyptus*

camaldulensis Dehnh. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 98p.

[11] Ortega-Mora JR, Rivera-Prado JJ, Vargas-Radillo JJ, Sanjuán-Dueñas R, Rutiaga-Quiñones JG (2005) Blanqueo de la pulpa Kraft de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, utilizando las secuencias (CD)EpPD y OAZEopPP. VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Chihuahua, México. Memorias pp 555-559. ISBN 970-748-027-0.

[12] Gabriel-Parra R, Rivera-Prado JJ, Vargas-Radillo JJ, Sanjuán-Dueñas R, Rutiaga-Quiñones JG (2005) Blanqueo de la pulpa celulósica de *Eucalyptus saligna* Smith, utilizando secuencias clorada y libre de cloro. VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Chihuahua, México. Memorias pp 560-563. ISBN 970-748-027-0.