

# SECUENCIAS DE BLANQUEO ECF Y TCF APLICADAS A PULPA DE BAGAZO DE CAÑA

*ECF and TCF bleaching sequences applied to  
pulp of sugar cane bagasse*

Silvana Mariani A.

C. de Productos Forestales, Laboratorio de Pulpa y Papel, Instituto de Tecnología de Productos Forestales,  
Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile. Email: smariani@uach.cl

## RESUMEN

Pulpa química de bagazo de caña obtenida por proceso a la sosa, se somete a distintas secuencias de blanqueo, aplicando secuencia convencional CEH, secuencia ECF (Elemental Chlorine Free) y TCF (Totally Chlorine Free) las pulpas se evalúan en blancura y estabilidad de blancura, mientras que los efluentes se evalúan en carga de organo-clorados, DQO (Demanda Química de Oxígeno) y color; los resultados para cada secuencia se comparan obteniendo como resultado que la secuencia ECF otorga blancura sobre 80°ISO con la mayor estabilización de blancura frente a la secuencia convencional de blanqueo de bagazo CEH y las secuencias TCF. En cuanto a los efluentes, los de secuencias ECF y TCF presentan menores valores de color la secuencia convencional, pero mayores valores de DQO, los cuales sin embargo no se escapan de los límites establecidos por las normas ambientales para dichos procesos.

**Palabras clave:** bagazo de caña, blanqueo, CEH, ECF, TCF.

## ABSTRACT

Chemical pulp of sugar cane bagasse obtained from soda process is bleached under different bleaching sequences such as conventional CEH (Chlorine-Extraction-Hypochloride), ECF (Elemental Chlorine Free) and TCF (Totally Chlorine Free). The obtained pulps are evaluated through brightness and brightness stability indexes while effluents are evaluated through the charge of organic chlorine, COD (Chemical Oxygen Demand) and color. Results for each sequence demonstrated that ECF provides brightness upper than 80° ISO with the highest brightness stability values compared to CEH and TCF sequences for the pulp of sugar cane bagasse. Effluents from ECF and TCF sequences presented lower values of color compared to the conventional sequence CEH but higher values of COD, which however are not out of the limits of environmental norms for those bleaching processes.

**Keywords:** cane bagasse, bleaching, CEH, ECF, TCF.

## INTRODUCCIÓN

La presión ambiental nos hace mejorar las secuencias de blanqueo desde el punto de vista del impacto ambiental que provocan sus efluentes líquidos. Si observamos los datos de mercado la producción de pulpa química blanqueada a finales de 2002 por proceso ECF fue de 65 millones de toneladas, el cual corresponde al 75% del mercado mundial de pulpa; además en los últimos cinco años la pulpa ECF a mantenido un alto crecimiento anual, mientras que la pulpa TCF se ha mantenido en un 6% de la producción de pulpa química blanqueada mundial (AET, 2004). Es por esta razón de mercado que se hace importante concebir nuevas secuencias de blanqueo para todo tipo de pulpa química blanqueada, en este caso la pulpa de bagazo de caña.

La forma convencional de blanquear la pulpa de bagazo de caña ha sido con secuencias basadas en

compuestos derivados del cloro, por ejemplo CEH (Tendulkar *et al.* 1994, Simonson 1994) pero dichas secuencias que incluyen cloro o derivados del cloro generan efluentes altamente contaminantes por la alta cantidad de organo-clorados y cloroformo que se genera en las etapas, además del fuerte impacto de color que genera la etapa de extracción alcalina.

El objetivo del estudio es estudiar la factibilidad de aplicar secuencias TCF y ECF a pulpa química de bagazo de caña y compararla con la secuencia convencional CEH, para lo anterior se proponen secuencias ECF y TCF basadas principalmente en etapas con peróxido de hidrógeno, en las cuales se utilizan las etapas P<sub>HP</sub> (peróxido de hidrógeno a alta presión), P<sub>HT</sub> (peróxido de hidrógeno a alta temperatura) y P<sub>CV</sub> (peróxido de hidrógeno convencional) de tal forma que podamos evaluar tanto la pulpa blanqueada obtenida como los efluentes generados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utiliza pulpa de bagazo de caña industrial obtenida por proceso a la sosa proveniente de Veracruz (México) a la cual se le somete a las siguientes secuencias de blanqueo:

- Secuencia convencional: CEH
- Secuencia ECF: AqP<sub>HP</sub>HP<sub>cv</sub>
- Secuencias TCF: AqP<sub>HP</sub>P<sub>cv</sub>; AqP<sub>HT</sub>P<sub>cv</sub>; AqPPaP<sub>HT</sub>

Las condiciones aplicadas en cada etapa se presentan en los cuadros 1 y 2, las cuales se obtuvieron de trabajos anteriores realizados por el investigador.

Las respuestas medidas en la pulpa fueron blancura, número de Kappa, viscosidad, termo y fotorreversión.

En el momento de plantear estas secuencias se tuvo en consideración el reducir la generación de efluentes y minimizar su impacto frente al medio ambiente, por lo que después de cada etapa, para cada secuencia, se analizaron el DQO y color de los filtrados a través de normas estándar 5220C y método de comparación visual 2120B respectivamente (American Public Health Association, 1992), mientras que el contenido de órgano-clorados se cuantificó en base a fórmulas empíricas entregadas por bibliografía:

Concentración total de órgano-clorados (AOX):  
(Basta *et al.*, 1990)

$$\text{AOX} = k_1 * [C + (D/k_2)] \quad (\text{kg/ton})$$

Donde:

$$k_1 = 0,1 \quad k_2 = 5,0$$

C = carga de cloro (kg cloro activo/ton pulpa)

D = carga de dióxido (kg cloro activo/ton pulpa)

Concentración de cloroformo: (Dallons *et al.*, 1990)

$$\text{Cloroformo} = \text{Kappa} * (-0,023 + 0,025 * H^{0,5} + 0,00832 * R) \quad (\text{kg/ADt})$$

Donde:

H = carga de hipoclorito (kg cloro activo/ADt)

R = hipoclorito residual (kg cloro activo/ADt).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La secuencia convencional deja a la pulpa con una blancura sobre 80°ISO, que al compararla con las otras secuencias nos damos cuenta que la AqP<sub>HP</sub>HP<sub>cv</sub> obtiene una blancura superior a esta en 1°ISO alcanzando 82,1°ISO (Cuadro 3) resultado muy bueno si se compara ahora con los valores obtenidos por Tendulkar *et al.* en 1990 quien aplica secuencias PHP con distintos niveles de carga y tan sólo logra llegar a 79,3°ISO con una carga total de 3% bps.

**Cuadro 1.** Condiciones de operación de la secuencia convencional y ECF.

Condiciones	CEH			AqP <sub>HP</sub> HP <sub>cv</sub>			
	C	E	H	Aq	P <sub>HP</sub>	H	P <sub>cv</sub>
Consistencia %	2	10	10	2	15	10	15
Temperatura °C	amb.	60	amb.	70	100	amb.	80
Tiempo minutos	45	60	120	30	90	120	180
Presión kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	-	4,0	-	-
*Cloro %bps	2,8	-	-	-	-	-	-
*Hipoclorito %bps	-	-	2,5	-	-	2,5	-
NaOH %bps	-	2,0	-	-	-	-	-
HCl %bps	-	-	-	0,23	-	-	-
DTPA %bps	-	-	-	0,2	-	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> %bps	-	-	-	-	1,5	-	1,5
MgSO <sub>4</sub> %bps	-	-	-	-	0,05	-	0,05
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> %bps	-	-	-	-	2,0	-	2,0
AT/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	-	-	-	0,8	-	0,8

\* Carga como cloro activo.

**Cuadro 2.** Condiciones de operación secuencias TCF.

Condiciones	Etapas de secuencias TCF			
	P <sub>HT</sub>	P <sub>HP</sub>	P <sub>CV</sub>	Pa
Consistencia %	15	15	15	10
Temperatura °C	110	100	80	50
Tiempo minutos	t <sub>1</sub> = 10 t <sub>2</sub> = 90	90	180	30
Presión kg/cm <sup>2</sup>	-	4,0	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> %bps	1,5	1,5	1,5	-
MgSO <sub>4</sub> %bps	0,05	0,05	0,05	-
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> %bps	2,0	2,0	2,0	-
*CH <sub>3</sub> COH %bps	-	-	-	1,0
AT/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,9	0,8	0,8	-

\* Carga de ácido peracético como peróxido de hidrógeno

Por otro lado es notorio ver como las secuencias que sólo incluyen peróxido no logran llegar a los 80°ISO, siendo la secuencia que incluye ácido peracético la que logra el máximo valor de blancura que corresponde a 78,2°ISO.

En cuanto a la deslignificación, el comportamiento es similar, es decir, la pulpa en secuencia CEH alcanza la máxima deslignificación sin afectar la viscosidad de la pulpa, le sigue luego la secuencia ECF y por último las secuencias que sólo incluyen peróxido de hidrógeno.

La estabilización de la blancura final de las secuencias de blanqueo frente a la termorreversión presenta gran diferencia, puesto que la secuencia CEH sufre un 5,2% de pérdida de blancura, pero luego la secuencia ECF pierde 1,5%, este valor es bastante bueno al compararlo con los obtenidos por Tendulkar *et al.* los cuales son mucho más altos, luego todas las secuencias TCF presentan una pérdida de 1,1%, indiferente de la posición de las etapas.

En cuanto a la fotorreversión observamos que tanto la pulpa blanqueada con la secuencia convencional como la blanqueada con la secuencia ECF sufren el mismo porcentaje de reversión, en cambio la pulpa blanqueada con secuencias TCF presentan menores porcentajes de fotorreversión, los cuales se mueven en el rango de 8,3 a 9,8%.

La principal diferencia en cuanto al grado de contaminación de los efluentes la representa la se-

**Cuadro 3.** Resultados que presenta la pulpa de bagazo de caña al ser sometida a diversas secuencias de blanqueo.

Secuencia	Etapas	Blancura ° ISO	Número Kappa	Viscosidad cP	Blancura ° ISO Termorreversión	Blancura ° ISO Fotorreversión
CEH	C	51,5	6,3	16,5	77,0	72,4
	E	57,1	3,2	21,4		
	H	81,2	1,6	17,0		
AqP <sub>HP</sub> HP	Aq	52,4	10,9	21,4	80,9	73,1
	P <sub>HP</sub>	70,4	7,1	21,0		
	H	77,4	4,9	18,1		
	P	82,1	3,5	9,2		
AqP <sub>HP</sub> P	Aq	52,4	10,9	21,4	74,4	67,8
	P <sub>HP</sub>	70,4	7,1	21,0		
	P	75,2	5,6	13,0		
AqP <sub>HT</sub> P	Aq	52,4	10,9	21,4	75,1	68,5
	P <sub>HT</sub>	71,4	6,6	18,1		
	P	75,9	5,7	10,3		
AqPPaP <sub>HT</sub>	Aq	52,4	10,9	21,4	77,3	71,7
	P	71,2	6,9	19,6		
	Pa	71,6	6,1	15,7		
	P <sub>HT</sub>	78,2	3,9	7,4		
Pulpa original		50,3	11,8	17,0		

cuencia convencional CEH, debido a que su etapa cloro genera un alto contenido de halógenos orgánicos absorbibles (2,8 kg/ton que representa alrededor de 60% de toxicidad (Young y Akhtar, 1998)) y la etapa de hipoclorito que contribuye con cloroformo (Cuadro 4). En cuanto a la secuencia ECF, esta ya no genera halógenos pero si una cantidad importante de cloroformo proveniente de la etapa hipoclorito, el cual corresponde a 0,92 kg/ton. Ahora bien, el gran beneficio de las secuencias TCF es que al no incluir en su secuencia ningún compuesto derivado del cloro, entonces su efluente no contiene compuestos clorados.

Los efluentes de las secuencias ECF y TCF presentan una demanda química de oxígeno (DQO) mayor a la etapa convencional, sin embargo prácticamente todos estos valores (exceptuando la secuencia AqPPaP<sub>HT</sub>) se encuentran dentro de los rangos aceptados a nivel mundial, los cuales se muestran en el cuadro 5. Hay que tener presente que la mayor parte de las etapas de estas secuencias se realizaron a niveles de media consistencia (10 y 15%), por lo que los volúmenes de flujo de efluentes es menor, es decir menos carga al sistema de tratamientos de residuo si lo hay y por otro lado tomando en consideración que estas secuencias se han propuesto pen-

**Cuadro 4.** Resultados análisis de los filtrados provenientes de secuencias de blanqueo.

Secuencia	Etapas	DQO kg O <sub>2</sub> /ton	Color kg Pt/ton	AOX kg/ton	CHCl <sub>3</sub> kg/ton
CEH	C	22,5	0,24	2,8	0,61
	E	23,5	26,7	-	
	*H	29,4	0,4	-	
	Total secuencia	75,4 68,5 kg O <sub>2</sub> /ADt	27,3 24,9 kg Pt/ADt	2,8 2,5 kg/ADt	
AqP <sub>HP</sub> HP	Aq	31,4	3,62		0,92
	* P <sub>HP</sub>	50,8	8,25		
	H	28,8	0,39		
	P	31,7	2,81		
	Total secuencia	142,7 129,7 kg O <sub>2</sub> /ADt	15,1 13,7 kg Pt/ADt		
AqP <sub>HP</sub> P	Aq	31,4	3,62		
	* P <sub>HP</sub>	50,8	8,25		
	P	22,7	2,63		
	Total secuencia	104,9 95,4 kg O <sub>2</sub> /ADt	14,5 13,2 kg Pt/ADt		
AqP <sub>HT</sub> P	Aq	31,4	3,62		
	P <sub>HT</sub>	32,4	8,61		
	* P	37,0	2,64		
	Total secuencia	100,8 91,6 kg O <sub>2</sub> /ADt	14,9 13,5 kg Pt/ADt		
AqPPaP <sub>HT</sub>	Aq	31,4	3,62		
	P	19,7	6,96		
	* Pa	308,4	0,65		
	P <sub>HT</sub>	36,4	8,81		
	Total secuencia	395,5 359,5 kg O <sub>2</sub> /ADt	20,0 18,2 kg Pt/ADt		

ADt: Air Dry tons (toneladas secas al aire). \* etapas de mayor contribución de DQO.

**Cuadro 5.** Datos de DQO y color de efluentes reportados por bibliografía (Dence y Reeve, 1996)

Secuencia	DQO (kg/ton)	Color (kg Pt/ton)
Convencional	62 – 73	221 – 427
ECF	34 – 60	26 – 150
TCF	30 - 134	27 - 157

sando en un futuro cierre de circuitos de aguas en la planta, es bueno el hecho de que los contaminantes se encuentren más concentrados así la demanda de energía en los evaporadores será menor para concentrar estos reactivos y enviarlos a la caldera.

Es destacable el aporte de DQO de la etapa Pa en la secuencia AqPPaP<sub>HTP</sub> que la deja totalmente fuera de los rangos comúnmente mencionados, esto se debe a que el ácido peracético es un compuesto orgánico y que posee baja reactividad, por lo cual todo el excedente (es decir el que no reaccionó) va al efluente en forma de ácido peracético y otro como peracetatos, el comportamiento de esta etapa ya había sido mencionada por otros autores (Young y Akhtar, 1998).

Es importante mencionar que estas secuencia fueron aplicadas con condiciones generales presentadas en bibliografía y que no se ha optimizado cada etapa, lo cual deja mayor esperanza de que optimizando cada etapa de las secuencias TCF, tal vez si se logre obtener una pulpa con mejores respuestas (ganancia de blancura, deslignificación, pérdida de viscosidad, etc), aplicando menores cantidades de reactivo y generando efluentes menos contaminantes.

## CONCLUSIONES

Pero en general es la secuencia ECF la que presenta las mejores ventajas frente al resto, ya que logró alcanzar la máxima blancura y debido a que el porcentaje de pérdida por termorreversión es pequeño, entonces aún así su blancura permanece sobre los 80°ISO.

En cuanto a los niveles de color, hay que destacar que las secuencias ECF y TCF generan efluentes con niveles de color de 84,4% menor que los de la secuencia convencional, esta diferencia se produce

por el gran aporte de color de la etapa de extracción (aporta el 97,7% del color de la secuencia completa), debido a que el efluente de esta etapa posee un alto contenido de cloroligninas de alto peso molecular las cuales son coloreadas.

Las secuencias TCF entregaron efluentes sin carga de contaminantes clorados, sin embargo, ninguna secuencia TCF a base sólo de peróxidos logro que la pulpa de bagazo de caña alcanzará los 80°ISO.

## AGRADECIMIENTOS

A la colaboración de los profesores Higinio Regla y Jesús Rivera pertenecientes al Depto. de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara, México, dependencias en las que se desarrollo este trabajo como parte de la tesis de maestría.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AET. Trends in world bleached chemical pulp production: 1990-2002. *In: Alliance for Environmental Technology homepage*. [citado 09 de agosto de 2004]. Disponible en: [http://www.aet.org/reports/market/aet\\_trends\\_2002.html](http://www.aet.org/reports/market/aet_trends_2002.html)
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1992. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 18<sup>th</sup> ed. Washington.
- BASTA, J., L. HOLTINGER, J. HOOK, P. LUNDGREN. 1990. Reducing levels of absorbable organic halogeno (AOX), *Tappi Journal*, 73(4):155.
- DALLONS, V., D. HAY, R. MESMER, R. CRAWFORD. 1990. Chloroform formation and release from pulp bleaching, *Tappi Journal*, 73(6):91.
- DENCE C. y D. REEVE. 1996. *Pulp Bleaching. Principles and Practice*. Tappi Press, Atlanta, 868 p.
- SIMONSON O. 1994. Updating the bleach plant for non-wood fibrous materials, *IPPTA*, 6(1):9.
- TENDULKAR, S., J. SHINDE, A. MOKASHI. 1994. Elemental chlorine free bleaching of bagasse chemical pulp. *IPPTA*, 6(3):99.
- YOUNG, R. y M. AKHTAR. 1998. *Environmentally friendly technologies for the pulp and paper industry*. John Wiley & Sons, Inc., 1<sup>a</sup> ed., New York, 576 p.