

*Nancy Fernández  
M. Elena Naranjo  
Julio Alvarez*

## **blanqueo de la pulpa quimi-mecánica de bagazo con hidrosulfito de sodio**

### **Sumario**

En este trabajo se trata de encontrar la relación entre las variables que afectan significativamente el incremento de brillantez de la pulpa de alto rendimiento de bagazo con una degradación mínima cuando ésta es blanqueada con hidrosulfito de sodio.

Se tomó como metodología de trabajo experimental un diseño de experimento compuesto por un modelo saturado factorial  $2^4$ . Se tomaron como variables independientes, el consumo de hidrosulfito, temperatura, tiempo y pH. Las respuestas estudiadas fueron: ganancia de brillantez, número de blanqueabilidad (nb) y número de reversión de color (nrc). Se encontró así de este estudio, la información necesaria que permite optimizar una tecnología acertada para el blanqueo en estas condiciones.

Se puede concluir de este trabajo que, altas temperaturas con bajos consumos de hidrosulfito y pH y con tiempo no mayor de 45

minutos, son condiciones que favorecen los incrementos de brillantez sin afectar significativamente las propiedades físico-mecánicas y químicas de las pulpas utilizadas, volviéndose importantes en primer término, el control de la temperatura y el pH, así como sus interacciones, las cuales llevan el peso mayor como variables en el proceso.

### **Summary**

The objective of this investigation is to determine the relationship between those variables which have a significant effect on the brightness increase of high yield bagasse pulp bleached with sodium hydrosulphite with a minimum degradation on the pulp.

The experiences were carried out following an experimental design consisting on a saturated factorial  $2^4$  model. Consumption of hydrosulphite, temperature, time and pH were taken as independent variables. The studied responses were: brightness increase, bleach-

ability number (nb), and post color number (pcn). The information required to optimize an appropriate technology for bleaching under these conditions was obtained from the results.

It can be drawn from the model that high temperatures with low hydrosulphite consumption, low pH and a time not less than 45 minutes are conditions which tend to increase brightness without significant harmful effect on the physico-mechanical and chemical properties of the pulps. Temperature and pH control, and their inter-actions are of prime importance and having the greatest influence as process variables.

## 1. Introducción

Este trabajo forma parte de los estudios que se vienen realizando en la Dirección de Celulosa del ICIDCA por la sección de blanqueo con el objetivo de conocer el comportamiento de la pulpa de alto rendimiento de bagazo ante los procesos de blanqueo sin remoción de lignina.

En el desarrollo del trabajo se pretende definir la influencia y los rangos de operación de los variables de más incidencia tecnológica en proceso de blanqueo con hidrosulfito.

El hidrosulfito de sodio se utiliza en el abrillantamiento de las pulpas de alto rendimiento (mecánicas y quimi-mecánicas), teniendo en consideración que es un reactivo de bajo precio respecto a otros agentes utilizados para obtener incrementos moderados de brillantez, lo cual es suficiente para la producción de magazine para libros.

Para las pulpas de madera este proceso está actualmente bien establecido no siendo igual para las pulpas del bagazo, al no existir experiencias industriales y además los estudios de laboratorios realizados han utilizado los mismos parámetros definidos para las pulpas de madera sin tener en consideración las diferencias químicas y morfológicas de ambas materias primas.

Se ha realizado una planificación experimental a través de un diseño factorial saturado  $2^4$  con un total de 17 experimentos del cual se han tomado los valores de las respuestas: ganancia de brillantez, número de blanqueabilidad y número de reacción del color.

En el desarrollo del trabajo se describe esta metodología experimental así como se discuten los resultados más importantes del ajuste del modelo lineal múltiple.

## 2. Planificación experimental

### 2.1 Selección de los variables. *Variable independiente*

En la tabla 1 aparecen reflejados los variables independientes seleccionados para la realización de este trabajo así como sus rangos de operación, la información básica para esta información se tomó de los trabajos experimentales previos realizados en el ICIDCA así como las experiencias reportadas para madera en la literatura.

TABLA 1

Variables independientes seleccionados.

Rangos de operación

Código	Variable	Unidades	Rango
C	Consumo de hidrosulfito	%	0.5-1.5
T	Temperatura	T	60-80
Ph	—	—	5.5-7.5
t	Tiempo	t	15-45

2.2 Variables dependientes

Las variables que se tomaron como respuesta al proceso de blanqueo fueron:

Ganancia de brillantez ( $\Delta B$ )

Número de blanqueabilidad (nb)

Número de reversión de color (nrc)

2.3 Diseño de experimentos

El diseño de experimentos planteado es un modelo saturado factorial  $2^k$  para  $K = 4$  y trabajando sólo con las interacciones de 2º orden por la poca significación en nuestro caso de las interacciones de orden superior. El número total de experimentos a realizar es de 16. Este trabajo se realizó considerando dos niveles en todos los casos, se ha considerado el punto medio (0) del diseño sin que la matriz original pierda su ortogonalidad; estas condiciones aparecen a continuación en la tabla 2.

TABLA 2

Valores para los niveles de cada variable.

Matriz experimental

a. Valores para los niveles de cada variable

Nivel	Variables independientes			
	c (%)	T (°C)	pH	(min)
-1	0.5	60	5.5	15
0	1	70	6.5	30
+1	1.5	80	7.5	45

b. Matriz experimental

Exp No.	C	T	pH	t
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1
17	0	0	0	0

La ecuación propuesta para ajustar al modelo planteado es la siguiente:

$$y = f(C, T, \text{pH } t)$$

$$y = B_0 + B_C C + B_T T + B_{\text{pH}} \text{pH} + B_t t + B_{CT} cT + B_{C\text{pH}} C \text{pH} + B_{CT} Ct + B_{T\text{pH}} \text{pH } T + B_{Tt} Tt + B_{\text{pH } t} \text{pH } t$$

Siendo:

$B_0, B_C, B_T \dots$  Los coeficientes de los variables independientes y sus interacciones, su valor es un índice real del peso de la variable en cuestión y/o su interacción con otras respecto a la variable dependiente ( $y$ ).

### 3. Metodología experimental

Se utilizó bagazo de la variedad de caña de azúcar J-60-5 del Central "Manuel Fajardo" para la elaboración de la pulpa quimi-mecánica. El bagazo fue desmeollado en suspensión posterior al haber sido pasado a través de un cernidor rotatorio provisto con malla 16.

La pulpa quimi-mecánica se preparó mediante cocción en digestores eléctricos de 15 lts aplicándose el proceso "cold soda" modificado y refinada en un molino de discos "Bauer de 8" la pulpa obtenida fue clasificada y depurada.

A continuación se reportan los análisis químicos y las propiedades físico-mecánicas y ópticas de la pulpa.

TABLA 3

Propiedades ópticas, químicas y físico-mecánicas de las pulpas no blanqueadas

#### 3.1 Análisis Químicos de las pulpas

Componente	%
Celulosa	53.8
NaOH %	22.79
Solub. H <sub>2</sub> O fría	0.32
Solub. H <sub>2</sub> O caliente	1.58
Solub. alch-benc.	0.61
Solub. alc. etílico	0.59
Solub. éter etílico	0.14
Pentosanos	26.4
Lignina	18
Cenizas	1.02
Hierro (ppm)	109

#### 3.2 Propiedades físico-mecánicas y ópticas de las pulpas

Propiedad	Unidad	Valor
Grado Molida	°SR	50
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	0.38
F. Rasgado	—	31
F. Estallido	—	15.7
L. Ruptura	m	2667
Elongación	mm	1
Doblez	—	1
Calibre	mm	0.184
Brillantez	Elrepho	43.3

*Proceso de blanqueo*

La pulpa conteniendo el tripoli-fosfato de sodio y suficiente agua para lograr la consistencia 3% fue dispersada en el equipo desintegrador Standard TAPPI midiéndose el pH. La suspensión se traspasa a un sobre de polietileno y se hace pasar corriente de nitrógeno para el desairamiento de la pulpa durante 10 min, se adiciona el  $S_2O_8Na_2$  tan rápido como sea posible homogenizando la suspensión. Se ajusta nuevamente el pH y se sella el sobre de blanqueo.

Este se realiza en el baño termostático a la temperatura de trabajo; concluido el tiempo de blanqueo se determinan el  $S_2O_8Na_2$  residual y el pH.

La pulpa entonces se desagua y se acidifica con  $SO_2$  a pH 2-5 durante unos 5 minutos, al finalizar esta operación la pulpa se desagua nuevamente y se toman las muestras para las mediciones experimentales.

4. **Discusión y análisis de los resultados**

A continuación se reportan los resultados obtenidos para los experimentos realizados así como los valores de los coeficientes para los variables y la ecuación descodificada, considerando la variable dependiente  $\Delta B$

$$\Delta B = - 16.31 + 0.3979 T + 1.969 pH + 0.1382 t - 3.1820 C - 0.224 TC + 0.8 CpH - 0.0412 TpH - 0.0003 Tt - 0.012 pHt - 0.015 Ct$$

El coeficiente de correlación múltiple encontrado fue 0.954 y la desviación standard del modelo = 0.63

Considerando la variable dependiente número de blanqueabilidad se obtuvo la siguiente ecuación para los variables codificados.

$$\Delta B = - 19.70 - 5.706 C + 0.552 T + 2.618 pH + 0.218 t + 0.046 CT + 1.211 C pH - 0.0185 C t - 0.056 T pH - 0.018 pH t - 0.0006 T t$$

Los valores de los parámetros resultados aparecen reportados en de cada experimento así como sus la tabla 4.

**TABLA 4**  
Valores de los parámetros y sus resultados que la matriz experimental descodificada

No.	Parámetros				Variables independientes			
	C	T	pH	t	n b			
					Exp.	modelo	Exp.	modelo
1.	0.5	60	5.5	30	5.5	5.5	10.2	10.4
2.	1.5	60	5.5	30	4.9	9.2	9.2	9.0
3.	0.5	80	5.5	30	7.9	7.3	13.6	12.7
4.	1.5	80	5.5	30	8.5	9.3	14.6	15.7
5.	0.5	60	7.5	30	5.2	5.6	9.6	10.0
6.	1.5	60	7.5	30	5.9	5.7	10.0	10.6
7.	0.5	80	7.5	30	6.6	6.9	11.8	12.3
8.	1.5	80	7.5	30	6.8	6.5	12.2	11.6
9.	0.5	60	5.5	60	6.9	6.98	12.4	12.6
10.	1.5	60	5.5	60	6.1	6.2	11.0	11.1
11.	0.5	80	5.5	60	10.3	10.9	16.9	17.6
12.	1.5	80	5.5	60	7.9	7.3	13.9	13.1
13.	0.5	60	7.5	60	5.1	4.7	9.5	8.9
14.	1.5	60	7.5	60	6.7	7.1	11.9	12.5
15.	0.5	80	7.5	60	6.7	6.7	11.	11.7
16.	1.5	80	7.5	60	7.4	7.7	13.10	13.4
17.	1	70	6.5	70	6.2	5.7	11.3	10.6

TABLA 4-a

Valores de los coeficientes según el modelo y en el orden de mayor a menor significación para las variables codificadas en B

Orden	Coficiente	Valor
1.	$B_T$	0.987
2.	$B_{pH}$	-0.475
3.	$B_{T,pH}$	-0.412
4.	$B_{t,pH}$	0.40
5.	$B_t$	0.363
6.	$B_{pH,t}$	-0.187
7.	$B_{r,t}$	-0.113
8.	$B_{r,T}$	-0.112
9.	$B_{Tt}$	-0.05

#### 4.1 Variables dependientes ganancia de brillantez ( $\Delta B$ )

En la tabla 4 aparecen los valores de  $\Delta B$  para los diferentes niveles de los parámetros seleccionados.

##### 4.1.1 Influencia del consumo

El coeficiente  $B_c$  como se puede corroborar del ajuste del modelo no aparece en los resultados del programa lo cual sugiere que la influencia de este variable es de muy poco peso en el rango analizado.

En las figuras 1, 2, 3 aparecen las variaciones de C para los diferentes valores de pH, Temperatura y tiempo respectivamente.

En el gráfico 1 aparece su interreacción con el pH la cual tiene relativa significación y la magni-

tud de ésta decrece al incrementar el consumo. Los mayores incrementos de brillantez en todos los casos están asociados a la curva de pH 5.5. Para pH 6.5 se observa que la ganancia de brillantez es independiente del consumo de hidrosulfito. Para valores de consumo de 1.5 a cualquier valor de pH en el rango estudiado se obtiene el mismo incremento de brillantez lo cual pudiera ser un índice de un exceso de hidrosulfito el cual no se consume en el proceso de blanqueo.

En general se observa que un bajo consumo de hidrosulfito a pH 5.5 reporta los mejores incrementos para la brillantez respecto a esta variable. En cuanto a la interreacción con la temperatura se observa que incrementos en el consumo para una temperatura dada producen incrementos insignificantes en  $\Delta B$ . El incremento de la temperatura para un consumo dado incrementa significativamente el valor de  $\Delta B$ . La magnitud de esta interacción decrece al incrementar el consumo y su valor real es poco significativo.

En la figura 3 se observa que la interreacción del consumo con el tiempo es de muy poco peso.

En general las interreacciones del consumo con el resto de los variables es de poco peso en estas condiciones.

##### 4.1.2 Influencia de la temperatura

Es la variable de mayor importancia en el proceso de abrillatamiento con hidrosulfito el coeficiente que representa la magnitud de la variación de la brillantez con esta variable es el que tiene el mayor valor con el mode-

GRAFICO 1

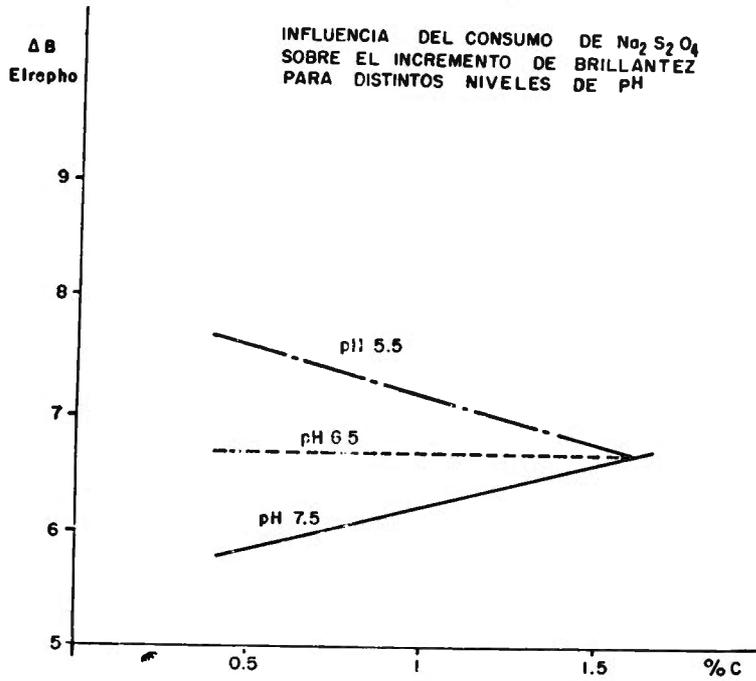


GRAFICO 2

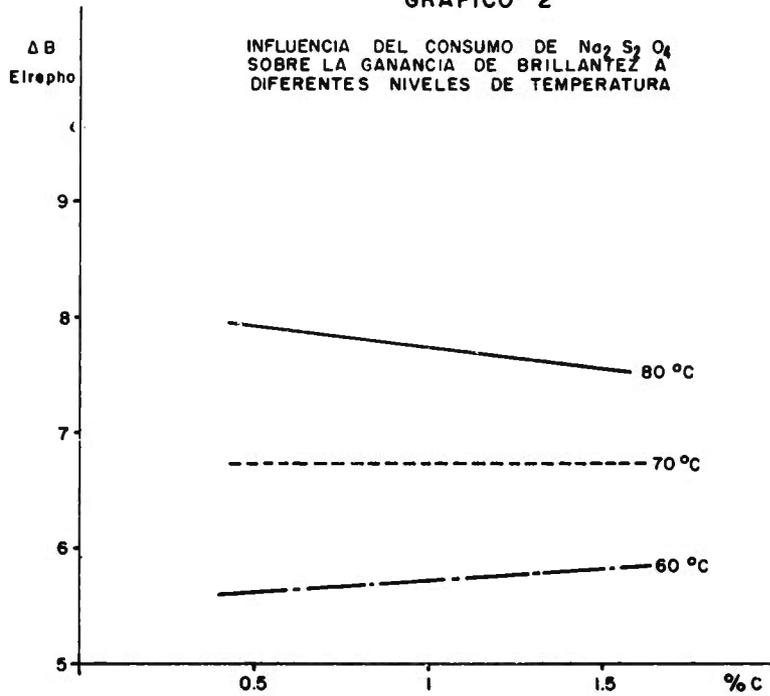
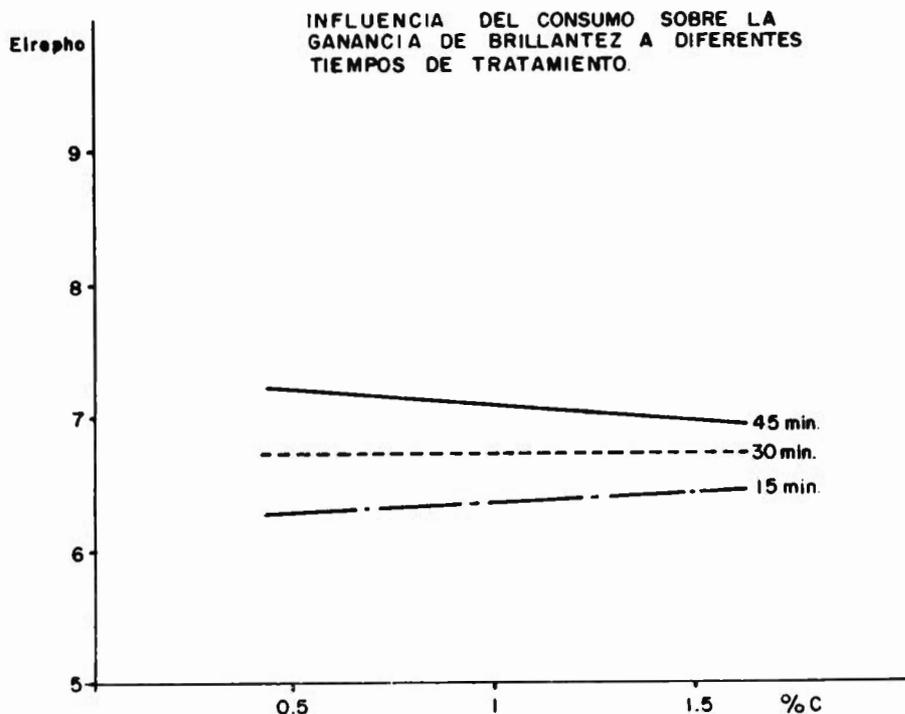


GRAFICO 3



lo ajustado. Los mayores valores de la temperatura conducen a los mayores incrementos de brillantez.

El efecto de sus interreacciones aparecen en los gráficos 4, 5 y 6. Su interreacción con el pH (fig. 4) es la más significativa del proceso, bajos valores de pH y altas temperaturas reportan los mejores incrementos en la brillantez.

De la forma de las curvas de la figura 6 se puede concluir que la interreacción con el tiempo es poco significativa ya que la ganancia de brillantez al incrementar el tiempo es independiente de la temperatura; aunque para un tiempo dado el incremento de la brillantez con la temperatura es significativo.

Para lograr que el efecto positivo de la temperatura no se vea disminuido es importante:

Garantizar que el hidrosulfito tenga un grado de pureza tal que otras formas presentes no interactúen en otro sentido a alta temperatura.

Que el deairamiento de la pulpa sea eficiente debido al efecto negativo que ejerce el oxígeno descomponiendo el hidrosulfito a alta temperatura.

Homogenización eficiente de la suspensión tal que no se produzcan efectos de sobreblanqueo en zonas.

GRAFICO 4

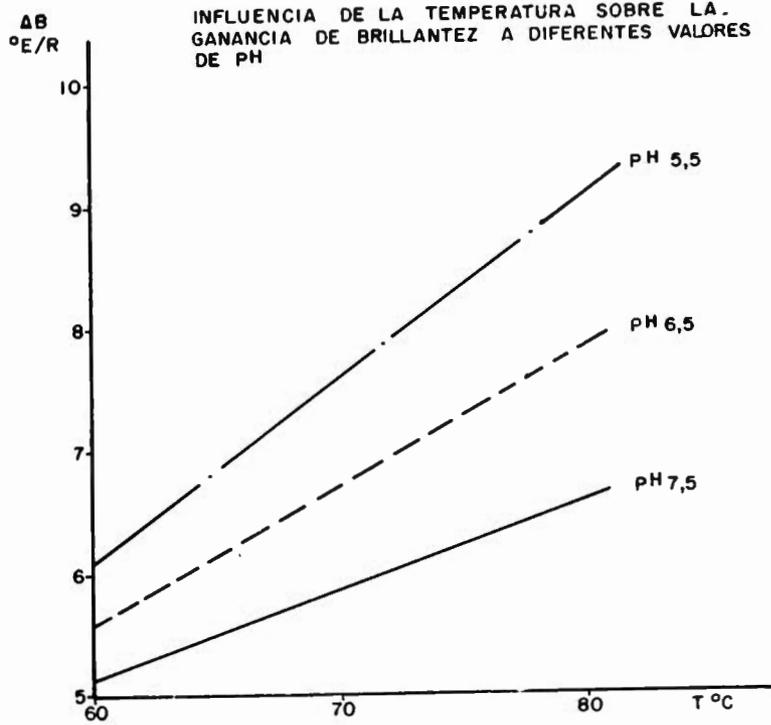
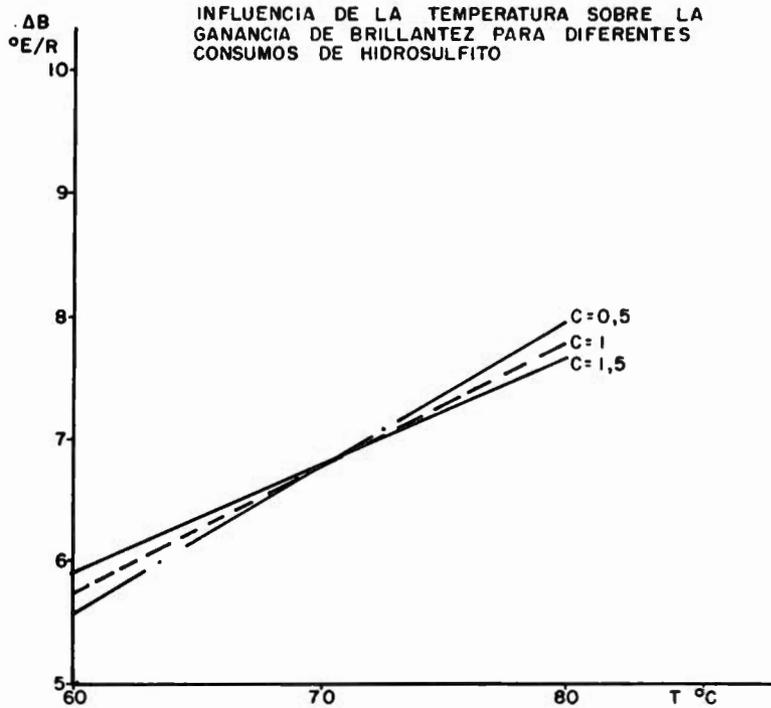
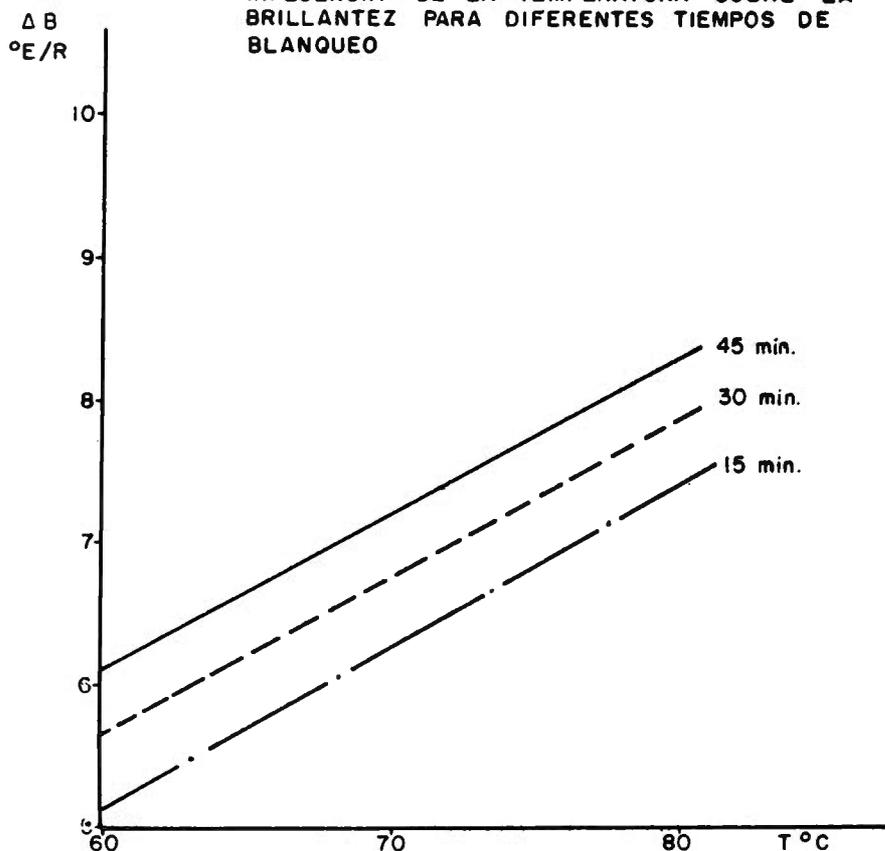


GRAFICO 5



**GRAFICO 6**

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA BRILLANTEZ PARA DIFERENTES TIEMPOS DE BLANQUEO**



#### 4.1.3 Influencia del pH

El pH y todas sus interreacciones son importantes en el blanqueo con hidrosulfito. Es la segunda variable en importancia como se corrobora de los resultados de diseño experimental.

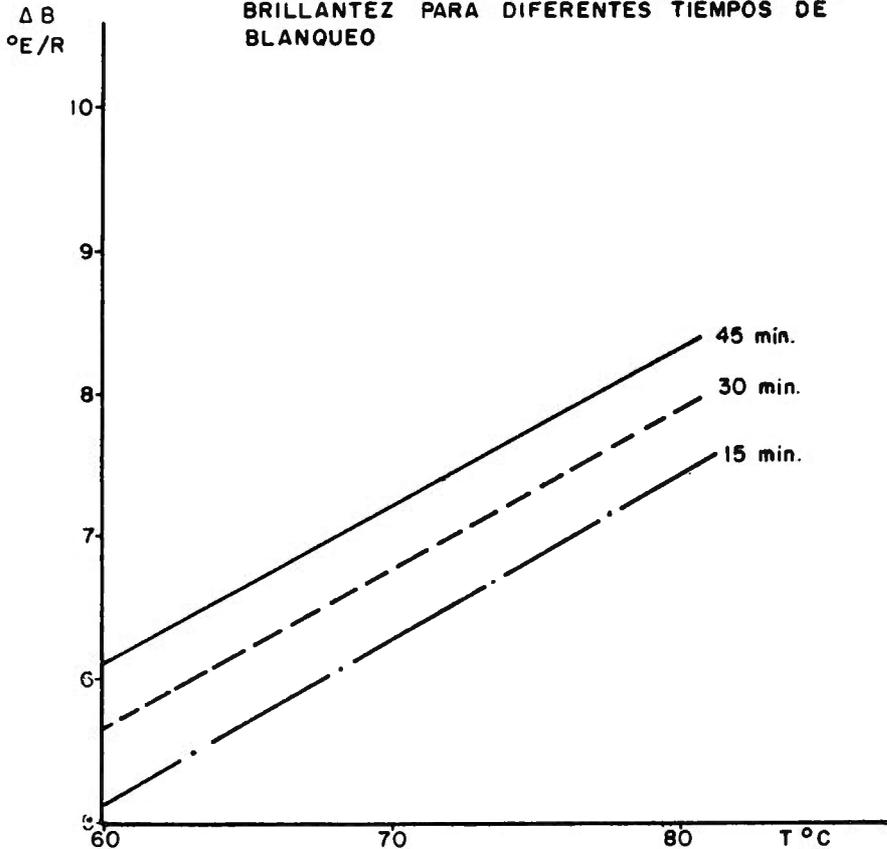
Un pH tan bajo como 5.5 produce en todos los casos resultados muy satisfactorios, ya algunos investigadores han trabajado con eucaliptus y otras especies a estos valores de pH obteniendo resultados alentadores. En el gráfico 7 se observa que el incremento de brillantez disminuye linealmente con el incremento del pH. Sus inter-

reacciones con el consumo y la temperatura ya han sido tratados con anterioridad, nos referiremos a su interacción con el tiempo.

El pH y el tiempo (fig. 7) se encuentran relacionados de forma inversa menores pH y mayores tiempos, proporcionan incrementos superiores para  $\Delta B$  en el rango estudiado. En experimentos realizados para tiempos superiores, el incremento de brillantez de la pulpa no varió en más de 0.5 unidades y un tiempo superior a 75 min. provocó un decremento final en la brillantez respecto al de 45 minutos. Quedó corroborado que un tiempo de 45 minutos es satisfactorio en este proceso de blanqueo.

**GRAFICO 6**

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA BRILLANTEZ PARA DIFERENTES TIEMPOS DE BLANQUEO



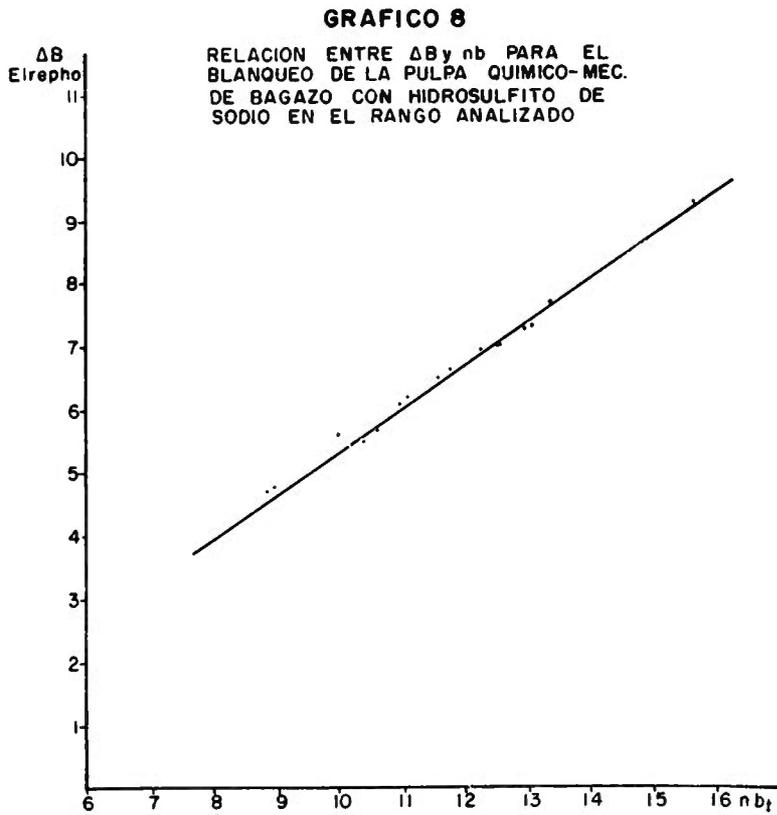
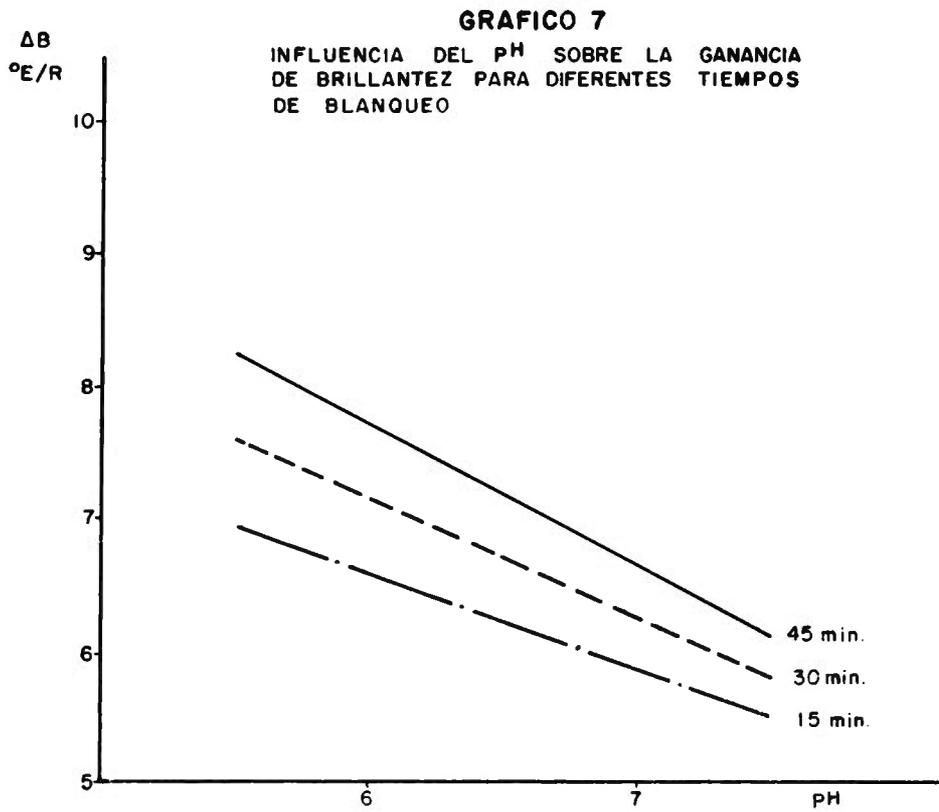
#### 4.1.3 Influencia del pH

El pH y todas sus interreacciones son importantes en el blanqueo con hidrosulfito. Es la segunda variable en importancia como se corrobora de los resultados de diseño experimental.

Un pH tan bajo como 5.5 produce en todos los casos resultados muy satisfactorios, ya algunos investigadores han trabajado con eucaliptus y otras especies a estos valores de pH obteniendo resultados alentadores. En el gráfico 7 se observa que el incremento de brillantez disminuye linealmente con el incremento del pH. Sus inter-

reacciones con el consumo y la temperatura ya han sido tratados con anterioridad, nos referiremos a su interacción con el tiempo.

El pH y el tiempo (fig. 7) se encuentran relacionados de forma inversa menores pH y mayores tiempos, proporcionan incrementos superiores para  $\Delta B$  en el rango estudiado. En experimentos realizados para tiempos superiores, el incremento de brillantez de la pulpa no varió en más de 0.5 unidades y un tiempo superior a 75 min. provocó un decremento final en la brillantez respecto al de 45 minutos. Quedó corroborado que un tiempo de 45 minutos es satisfactorio en este proceso de blanqueo.



#### 4.1.4 *Influencia del Tiempo*

Su efecto es comparativamente menos importante que el de la temperatura y el pH como hemos analizado con anterioridad. Se debe tener en cuenta que una mayor velocidad de reacción a alta temperatura vuelve importante los fenómenos de reversión de color y pérdida de brillantez por la presencia de otras formas diferentes al hidrosulfito químicamente.

#### 4.2 *Análisis del hidrosulfito residual*

Los experimentos que se trabajaron con un alto consumo de hidrosulfito, independientemente del movimiento de los otros parámetros reportan residuales menores que los correspondientes, al mayor consumo.

Y este valor oscila entre un 10-20% del hidrosulfito inicial. En general se encontró que la brillantez sufría un decremento con el tiempo de reacción para valores superiores a los 60 min. y el  $S_2O_4Na_2$  era además consumido. Parte del hidrosulfito no se empleaba en el blanqueo de la pulpa lo cual puede ser atribuible a la formación de productos de su descomposición química.

#### 4.3 *Propiedades químicas y físico-mecánicas*

En la tabla 5 aparecen los resultados de las experiencias a los cuales se realizaron las determinaciones químicas.

Como se puede observar de los resultados de la composición química de la pulpa éstas no se alteran en los experimentos realizados.

El proceso de abrillantamiento con hidrosulfito es susceptible sólo a las transformaciones de grupos cromofóricos en la lignina u otros materiales similares sin afectar la composición química de las sustancias constituyentes, esto se corroborará aún más con los datos obtenidos para el rendimiento del blanqueo.

En cuanto a las propiedades físico-mecánicas podemos decir que para este blanqueo no se desarrollan propiedades de resistencia y éstos se asemejan en mucho a los de la pulpa cruda aún así los experimentos con mayores temperaturas y menores pH en general reportan las menores variaciones de las propiedades respecto a la pulpa cruda.

#### 4.4 *Número de blanqueabilidad (nb) y número de reversión de color (nrc)*

##### 4.4.1 *Número de blanqueabilidad*

Los valores obtenidos al graficar los valores del nb vs C, T, pH y t se corresponden con aquellos que se reportan en el caso de  $\Delta B$ , la utilización de esta variable (nb) representa la facilidad de la pulpa a ser blanqueada por éstos directamente relacionada con la cantidad de material coloreado presente en la pulpa.

Relación entre la brillantez y el número de blanqueabilidad.

Los valores teóricos de  $\Delta B$  y nb que aparecen en la tabla 6 fueron correlacionados a través del método de los mínimos cuadrados para obtener la relación entre ambos variables dependientes en el rango analizado.

**TABLA 5a**  
Composición química de pulpas blanqueadas

Exp. #	celulosa %	cel. %	cel. %	Celulosa %	Extrac. %			Ceniza %	Fe (ppm)
					alcohol Benc.	Pent. %	Lign. %		
1.	49.5	33.3	8.68	53.7	0.65	26.5	17.8	0.22	52
16.	50	32.5	8.42	53.8	0.76	26	17.7	0.45	48.7
17.	52	33	8.47	53.8	0.63	27.2	18	0.41	59.3

**TABLA 5b**  
Propiedades físico-mecánicas de las pulpas blanqueadas

No. corrida	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Rasgado	Estallido	L. Ruptura (m)	Elongación (%)	Opacidad
1.	0.36	31	8.6	1905	0.9	95.6
2.	0.37	33	9.0	1791	0.7	95.8
3.	0.398	40	15.7	2476	0.6	95.0
4.	0.39	37	13.1	2484	0.9	94.5
5.	0.361	31	9.6	1905	0.7	95.9
6.	0.36	33	11	1735	0.5	95.3
7.	0.385	29	14	2209	0.7	93.7
8.	0.383	30	13.0	2190	0.9	95.1
9.	0.372	29	10.0	1810	0.8	95.2
10.	0.368	31	10.0	2000	0.8	94.7
11.	0.372	32	14.0	2080	0.8	94.4
12.	0.372	39	10.8	2152	1.1	94.5
13.	0.354	29	8.1	1735	0.7	95.8
14.	0.342	32	8.8	1754	0.6	94.7
15.	0.34	29	10.0	1714	0.6	93.2
16.	0.353	34	11.8	1842	0.7	96.4
17.	0.376	29	11.4	1714	0.6	95.6

TABLA 6

Valores teóricos y experimentales obtenidos para  $\Delta B$  y  $nb$

No.	$\Delta B_T$	$\Delta B_E$	$nb_T$	$nb_E$
1.	5.5	5.5	10.4	10.2
2.	4.8	4.9	8.9	9.2
3.	7.3	7.9	12.7	13.6
4.	9.3	8.5	15.7	14.6
5.	5.1	5.2	10.0	9.6
6.	5.7	5.9	10.6	10.8
7.	6.9	6.6	12.3	11.8
8.	6.5	6.8	11.6	12.2
9.	6.98	6.9	12.6	12.4
10.	6.2	6.1	11.1	11.0
11.	10.9	10.3	17.7	16.9
12.	7.3	7.9	13.1	13.9
13.	4.7	5.1	8.9	9.5
14.	7.1	6.7	12.5	11.9
15.	6.7	6.7	11.75	11.8
16.	7.7	7.4	13.4	13.1
17.	5.7	6.2	10.6	11.3

La suma de los residuos cuadrados fue de 0.22 y la ecuación obtenida fue:

$$\Delta B = 1.5672 + 0.6925 nb$$

Esta relación nos permite relacionar ambas variables siempre que trabajemos en el rango de operación de este trabajo para las variables seleccionadas.

#### 4.5 Número de reversión de color

Las mediciones de la reversión de brillantez fueron realizadas por los métodos de calentamiento en seco y húmedo. Los resultados obtenidos se reportan en la tabla 7

y fueron corridos en el programa PS2R pero los coeficientes de correlación múltiple obtenidos en ambos casos fueron bajos.

En general se puede concluir que el método de envejecimiento en húmedo conduce a números de reversión de color más altos que el método seco en todos los casos manteniéndose entre (2-5) para el calentamiento en seco y (5-8) para el calentamiento en húmedo.

TABLA 7

Resultados del nrc por el método seco y húmedo en el abrillantamiento con  $S_2O_4Na_2$

No.	$NRC_s$	$NRC_H$
1.	1.8	6.4
2.	2.9	6.6
3.	3.2	6.9
4.	2.3	5.1
5.	3.4	8.4
6.	3.4	4.9
7.	2.12	4.3
8.	1.87	0.98
9.	4.66	7.1
10.	3.02	7.3
11.	2.47	5.6
12.	2.36	7.8
13.	1.98	5.6
14.	3.49	7.2
15.	2.22	5.8
16.	2.12	5.7
17.	1.65	6.4

5. Conclusiones y recomendaciones

1. El diseño factorial saturado de dos niveles  $2^4$  planteado permite obtener una información capaz de caracterizar el abrillantamiento de la pulpa con hidrosulfito de sodio y responde estadísticamente a la relación planteada entre los variables independientes seleccionados tomando como respuesta  $\Delta B$  y nb mediante un modelo lineal múltiple.
2. El consumo es una variable de muy poco peso en el proceso de blanqueo así como sus interreacciones pH, T y t. Consumos superiores al 1% no reportan incrementos de brillantez significativos.
3. El hidrosulfito de sodio consumido oscila entre 80-90% correspondiendo el mayor consumo a los experimentos de menor % inicial independientemente del movimiento del resto de las variables.
4. El NRC por el método de calentamiento en seco provoca menos encarmelitamiento de la pulpa blanqueada que el método húmedo lo cual reafirma que aquellas operaciones como el secado y almacenamiento al calor y alta humedad relativa favorecen la reversión de color de estas pulpas.
5. El blanqueo con hidrosulfito no afecta aplicablemente la composición química, rendimiento y propiedades físico-mecánicas de las pulpas.
6. La temperatura es la variable que más influye en el proceso

al cual favorece en sentido positivo en el rango analizado.

7. El pH tiene una influencia considerable en el blanqueo. A valores de pH bajos corresponden los mejores incrementos de brillantez para cualquier rango de valores del resto de los parámetros.
8. El desairamiento con  $N_2$  garantiza una eficiente preservación del hidrosulfito excluyendo el oxígeno del medio.
9. El número de blanqueabilidad se corresponde linealmente con el incremento de brillantez, según la ecuación
 
$$\Delta B = 1.567 + 0.692 nb$$
10. El coeficiente de dispersión no se afecta significativamente en el proceso, permaneciendo prácticamente constante.

Reconocimiento

Queremos agradecer la colaboración que han prestado a la ejecución de este trabajo a los compañeros del Departamento de Ingeniería del ICIDCA y de la Sección de Planta Piloto del Departamento de Pulpa. Muy en especial la asesoría técnica brindada por el Ing. Raúl Bambanaste.

Bibliografía

1. Naranjo, M. Elena; Alvarez, Julio. Informe bibliográfico blanqueo de alto rendimiento. ICIDCA, 1973.
2. Ill, Octavio; Naranjo, M. Elena; Alvarez, Julio. Utilización del hidrosulfito de Sodio en el

blanqueo de la pulpa de alto rendimiento al sulfito neutro. ICIDCA, 1971.

3. Espinosa, José A. Informe temático sobre el blanqueo de la pulpa. ICIDCA, 1974.
4. Monografía TAPPI, No. 27. The bleaching of pulp.
5. Tyminski A. Pulp and Paper Magazine of Canada. T-258, June-1957.
6. Castellanos, Marlina; Naranjo, M. Elena; Alvarez, Julio. Estudio del blanqueo con peróxido de hidrógeno de la pulpa quimimecánica a la soda fría. ICIDCA, Dic./1973.
7. Bacon, W. P.; Henson, L. T. Statistical Desing and Model Building. Canada, 1971.