

---

# Evaluación del efecto de la carga alcalina y factor H en el pulpeo kraft de *Pinus Caribaea* var. hondurensis de las plantaciones de CVG-PROFORCA – Venezuela

(Evaluation of the effect of the alkali charges and H factor in the *Pinus Caribaea* var. hondurensis kraft pulping of the Venezuela CVG-PROFORCA plantations)

Carmen A. Fuenmayor R. / carmenfve@gmail.com y Miguel A. Vera F. / mvera\_fernandez@hotmail.com  
Ingenieros Forestales de la Universidad de Los Andes (ULA) Mérida - Venezuela.

Francides Gomes da Silva Jr. y Song Wong Park  
Profesores de la Universidad Federal de São Paulo (USP) São Paulo – Brasil.

Gladys Mogollón  
Profesora de la Universidad de Los Andes (ULA) Mérida - Venezuela.

Francismara Sanches Duarte  
Técnico encargado del Laboratorio de Química, Celulosa y Energía de la Universidad Federal de São Paulo (USP/ESALQ) São Paulo – Brasil.

## Resumen

Se estudió el comportamiento del proceso de pulpeo kraft en la especie *Pinus caribaea* de 14 a 17 años de edad provenientes de plantaciones de la empresa CVG – PROFORCA, localizadas en los estados Anzoátegui y Monagas, bajo cuatro diferentes factores H (750, 1500, 2250 y 3000) y ocho cargas alcalinas, aplicadas en intervalos de 2%, de 10% a 24%, con el fin de determinar en la pulpa rendimiento bruto y depurado, nivel de rechazos, número kappa, viscosidad y ácidos hexenurónicos; y en el licor negro: álcali residual, pH, viscosidad, contenido de sólidos totales y lignina residual. Se tomó una muestra de las astillas y después de medirlas se encontró resultados que muestran que las mismas cumplen con los espesores, largos y anchos óptimos recomendados. De los cuatro tratamientos aplicados, los correspondientes a factor H 750 y 1500 presentaron los números kappa mas altos, encontrándose que para niveles de álcali activo entre 10 y 14% las pulpas son semiquímicas, atribuido este resultado a la baja carga alcalina aplicada e influencia de tiempos de cocción. Para el rendimiento bruto y parámetros de rendimiento depurado, número kappa, viscosidad, fue notada una tendencia en decrecimiento entretanto el álcali activo aumentaba, como se esperaba.

**Palabras Claves:** pulpeo kraft, carga alcalina, factor H, rendimiento, número kappa.

## Abstract

The research studied the behavior of the process of Kraft pulping in the species *Pinus caribaea*, aged 14 to 17 years old coming from plantations of the company CVG - PROFORCA, located in the states Anzoátegui and Monagas, under four different H factors (750, 1500, 2250 and 3000) and eight alkaline charges, applied in intervals of 2%, of 10% to 24%, with the purpose of determining in the pulp gross and purified yield, level of rejections, kappa number, viscosity and hexenuronic acids; and in the black liquor: residual alkali, pH, viscosity, content of total solids and residual lignin. A sample of the chips was taken and after measuring them the results showed that they fulfill the recommended optimum thickness, lengths and widths. Of the four applied treatments, those corresponding to factor H 750 and 1500 presented the highest kappa numbers and it was found that for levels of active alkali between 10 and 14% the pulp is semi-chemical, this result credited to the low alkaline charge applied and influence of cooking time. For the gross yield and parameters of purified yield, kappa number, viscosity, a decreasing tendency was noticed; meantime, the active alkali would increase, as expected.

**Key Words:** kraft pulping, alkaline charges, H factor, yield, kappa number

Recibido: 05 de marzo de 2007 | Aceptado: 16 de abril de 2007

## I. INTRODUCCIÓN.

Muchas investigaciones se han realizado con el objeto de estudiar el proceso de producción de pulpas mediante cocciones de pino caribe con objeto de aumentar el conocimiento y la tecnología en esta área. Ciertos factores, tales como nivel del álcali, temperatura y tiempo de cocción, son de importancia fundamental en este proceso. El objetivo principal de reducir la madera procesada en astillas a pulpa lignocelulósica por medio de cocciones kraft, la cual consiste en la individualización de las fibras con disolución de la lignina principalmente en la lámina media de la madera, por medio de acción de agentes de cocimientos (soda y sulfito), agua, temperatura y presión. Carvalho (2006), citando a Gierer (1970) dice que el proceso kraft implica el tratamiento de las virutas de madera con una solución acuosa de hidróxido del sodio y de sulfato de sodio por dos horas, en cocciones cerca de los 170°C. El mismo autor citando a Bassa (2002), define que el álcali activo es uno de los parámetros principales en el proceso de reducción de la pulpa, pues se relaciona directamente con la intensidad de las reacciones de deslignificación y la subdivisión de carbohidratos. Uno de los parámetros de cocción que afecta perceptiblemente la calidad de la pulpa es el nivel activo total del álcali aplicado, principalmente en el caso de cocimiento convencional (Carvalho, 2006, citando a Silva et al., 1997). En este trabajo de investigación se realizó una revisión completa acerca de los parámetros de cocimiento, en un proceso kraft, de la especie en estudio con las edades más abundantes en dichas plantaciones, haciendo especial énfasis en indagar y hallar los parámetros ideales de cocimiento, experimentando con diferentes cargas de álcali activo, aplicadas con una variación del 2% (10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 y 24% respectivamente) a partir de cuatro factores H previamente definidos: 750, 1500, 2250 y 3000.

## II. MARCO METODOLÓGICO.

### 2.1 Materiales y métodos

#### 2.1.1 Materiales:

Se utilizaron cuatro (4) trozas de diferentes edades (15, 16, 17 y 18) de la especie *Pinus caribaea* provenientes de plantaciones localizadas en la parte sur de los es-

tados Anzoátegui y Monagas - Venezuela (empresa CVG – PROFORCA).

## 2.2 Metodología de laboratorio:

La madera fue procesada adecuadamente para su utilización en las cocciones, las condiciones de cocción, así como, los parámetros previamente definidos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Condiciones de cocción a usar para una cocción kraft de *Pinus caribaea*.**

Parámetros	Condiciones
Materia prima seca, gr	78,1796
Carga alcalina, %	10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24
Sulfidéz, %	25
Temperatura máxima, °C	170
Tiempo de calentamiento, min	90
Tiempo de cocción, min	27 (factor H 750), 75,90 (factor H 1500), 124,74 (factor H 2250) y 173,581 (factor H 3000)
Velocidad de ascenso de la temperatura, °C/min	1,61
Relación licor – astillas	5:1

**Análisis de las cocciones:** Después de las cocciones se realizaron los siguientes análisis descritos en la Tabla 2.

**Tabla 2. Análisis llevados a cabo en la pulpa y el licor con sus respectivos métodos para *Pinus caribaea*.**

	Parámetros	Normas
Pulpa	Rendimiento bruto, %	Diferencia entre el peso de la pulpa y el peso de las astillas.
	Rendimiento depurado, %	Diferencia entre el peso de la pulpa tamizada y el peso de las astillas
	Nivel de rechazos, %	Diferencia entre el peso seco de los rechazos (material tomado del tamiz de 0,2 mm) y el peso de las astillas
	Numero kappa	Norma TAPPI – T236 cm-85
	Viscosidad, Cp	Norma TAPPI – T230 cm-94
	Ácidos hexenurónicos, µmol/gr	Según Chai et al., 2001
Licor	Álcali residual, (gr/lit Na <sub>2</sub> O)	Norma TAPPI - T625
	pH	Lector de pH o pHmetro digital
	Contenido de sólidos totales, %	Norma TAPPI – T650
	Lignina residual, gr/lts	Según Chai et al., 2003

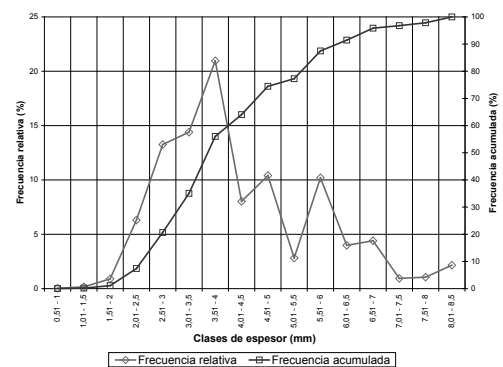
## III. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

### 3.1 Caracterización del material:

Entre las características del material relacionadas al proceso, merecen destacarse las dimensiones de las astillas (largo, ancho y espesor).

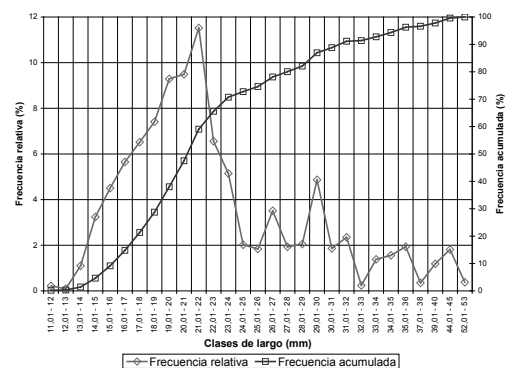
### 3.2 Clasificación de las astillas:

Se tomó una muestra representativa de las astillas (300 gr en total) para hacer seguimiento de los resultados del proceso de astillado midiendo estas con un paquímetro y separándolas en clases de espesor, largo y ancho (Gráficos 1, 2 y 3).



**Gráfico 1. Clasificación de las astillas de *Pinus caribaea* por clase de espesor.**

La pequeña cantidad de astillas de menor tamaño es un factor que puede ser considerado beneficioso en la operación de un digestor de escala industrial, ya que esto facilita la extracción y circulación de licores a través de las rendijas de extracción, localizadas en sus paredes.



**Gráfico 2. Clasificación de las astillas de *Pinus caribaea* por clase de largo.**

De igual manera se evidencia que la mayor parte de las astillas usadas tienen un largo entre 10 y 30 mm (87%), presentando en este caso un 13% de over-sizes (> 30 mm).

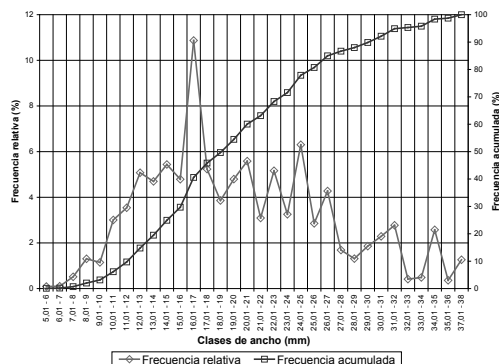


Gráfico 3. Clasificación de las astillas de *Pinus caribaea* por clase de ancho.

Aunque el ancho según bibliografía revisada es un factor poco importante en los procesos de pulpificación o degradación de materiales lignocelulósicos en la pulpa, también fueron medidos en las muestras de astillas, encontrando que la gran mayoría se encuentra de 15 a 30 mm (87%).

Tabla 3: Dimensiones de las astillas de *Pinus caribaea*.

Dimensión	Media, mm	Desviación estándar	Coefficiente de variación, %	Máximo, mm	Mínimo, mm
Largo, mm	22,87	1,91	9,27	53	12
Ancho, mm	20,09	2,75	15,37	37,7	5,87
Espesor, mm	4,21	0,58	23,02	8,3	0,8

### 3.3 Densidad básica:

Los resultados de la densidad básica de las astillas de *Pinus caribaea* son presentados en la Tabla 4, a continuación.

Tabla 4: Densidad básica de la madera de *Pinus caribaea*.

Densidad Básica, g/cm <sup>3</sup>	Media, g/cm <sup>3</sup>	Desviación estándar	Coefficiente de Variación, %
0,422	0,433	0,01	3,49
0,417			
0,429			
0,447			
0,451			

Vázquez (1997) recomienda dentro de la aptitud papelera de esta especie el uso de maderas con un rango entre 0,41 a 0,46 g/cm<sup>3</sup> para la producción de pulpa celulósica

de óptima a buena calidad, con lo cual nuestra muestra cumple perfectamente, aunque según otros resultados de estudios de densidad básica realizados a la madera de *Pinus caribaea* (Foelkel et al. 1992 y Silva Junior 1993) los resultados difieren (0,35 - 0,39 g/cm<sup>3</sup> respectivamente), explicándose esto por la diferencia de edades utilizadas por los autores mencionados (8 años en promedio) y las nuestras (16,5 en promedio), cumpliéndose de esta forma una constante de las maderas: a mayor edad mayor densidad, la cual a su vez resulta en un mayor rendimiento en las cocciones (Barrichelo 1980, citando a Cole et al. 1966).

### 3.4 Composición química:

En la Tabla 5 se encuentra la composición química del material usado en este trabajo.

Tabla 5: Composición química de la madera de *Pinus caribaea*.

Componente	Media, %	Desviación estándar	Coefficiente de variación, %
Lignina total	29,56	0,29	1,09
Lignina insoluble	28,74	1,01	3,51
Lignina soluble	0,82	0,07	8,51
Holocelulosas	64,48	0,98	1,52
Extractivos totales	5,97	0,12	2

Con los resultados presentados en la Tabla 5 se puede considerar que las astillas utilizadas representan efectivamente material comercialmente utilizado para la producción de pulpa celulósica de fibra larga y son típicos de la madera de *Pinus caribaea* con las edades usadas (15, 16, 17 y 18 años).

### 3.5 Caracterización morfológica de las traqueidas:

Los resultados encontrados son descritos a continuación.

Tabla 6: Dimensiones de las traqueidas de *Pinus caribaea*.

Dimensión	Media,		Desviación estándar	Coefficiente de variación, %
	mm	µm		
Longitud (L), mm	5,04	-	0,17	3,37
Diámetro externo (D), µm	-	43,8	1,98	4,52
Diámetro interno (d), µm	-	30,2	1,68	5,57
Espesor de pared (e), µm	-	6,8	0,23	3,44

Era esperado un alto coeficiente de variación debido a la materia prima utilizada, la cual como es sabido es altamente homogénea, lo cual afecta obviamente las dimensiones de las traqueidas, ya que sus dimensiones varían de individuo en individuo, conforme a su localización en el árbol, entre madera juvenil y adulta y leño inicial y tardío. Según Mogollón y Aguilera (2002), a partir de las dimensiones de las traqueidas, se puede establecer relaciones que ayudan a la interpretación de la calidad de la madera y de la pulpa celulósica resultante, las cuales son descritas a continuación en la Tabla 7.

**Tabla 7. Interpretación de los resultados de los índices de las traqueidas de *Pinus caribaea*.**

Fracción de pared, %	31,05, la celulosa de las fibras es de poca calidad, fibras poco flexibles, rígidas y de baja absorción de agua (poco higroscópicas).
Coefficiente de flexibilidad	69,17, fibras flexibles
Índice de afieltramiento	115,091, fibras extremadamente fieltrantes
Índice de Runkel	0,4488, celulosa de muy buena calidad, adecuada para la formación de papeles denominados cristales (papeles densos y fuertes), con buena unión entre fibras.

### 3.6 Cálculo de los tiempos de cocción/factor H:

Definidos los factores H previamente (750, 1500, 2250 y 3000), se procedió a calcular los tiempos de cocción.

**Tabla 8: Resultados de tiempos de cocción / factor H usados para *Pinus caribaea*.**

Factor H	Tiempo (min)	Tiempo (h)
750	27	0,45
1500	76	1,27
2250	125	2,08
3000	174	2,89

## 3.7 Proceso de pulpeo

### 3.7.1 Determinación del nivel de álcali activo, curva de cocción:

Esta fue determinada por medio de cocciones test, realizando estas en los polos extremos de factor H (750 y 3000 respectivamente), deseando componer de esta forma una curva de álcali con rangos de resultados iguales o próximos a números kappas de 25 – 28 para las pulpas blanqueables, 58 – 60 y 100 para las no blanqueables.

Se procedió a estudiar los parámetros de cocción establecidos con los porcentajes de álcali activo definitivos.

### 3.7.2 Cocciones:

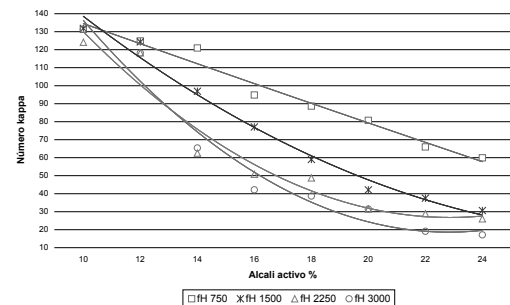
Con los valores definidos de álcali activo a usar para cocciones de los cuatro (4) factores H a evaluar en este estudio (750, 1500, 2250 y 3000), se procedió a correr cocciones por duplicado.

De los resultados de las cocciones se notó que según los diferentes niveles de álcali activo aplicado; los valores para los rendimientos brutos y depurados, número kappa, contenido de rechazos, viscosidad, ácidos hexenurónicos, contenido de sólidos en el licor, pH y lignina residual en cada muestra varían.

Con respecto a los valores de los contenidos de rechazos es importante resaltar que en los valores de álcalis activos de 10, 12 y 14% de los factores H de 750 y 1500, así como los álcalis activos de 10 y 12% de los factores H de 2250 y 3000 no tienen ningún porcentaje referido, debido esto a que las pulpas eran de muy semiquímicas a semiquímicas (números kappa máximo de 131,85 y mínimo 96,90), presentando estos a su vez altos rendimientos brutos (75,20 máximo y 55,54 mínimo).

Igualmente, la ausencia de valores resultantes de estas pruebas en algunas de las pulpas para el cálculo de la viscosidad se explica por la recomendación de esta solo a pulpas con números kappas iguales o mayores a 35 (E35), ya que por debajo de este valor se encuentran las pulpas químicas clasificadas como blanqueables (numero kappa  $28 \pm 2$ ) (TAPPI, 1998).

#### 3.7.2.1 Resultados de parámetros estudiados contrastados con el porcentaje de álcali activo aplicado.



**Gráfico 4. Número kappa de las pulpas por álcali activo *Pinus caribaea*.**

A pesar de no verificarse un efecto significativo del material sobre el nivel de deslignificación de la pulpa, nótese los valores kappa ligeramente superiores para el factor H 750 y 1500 aplicado, principalmente para dosis de álcalis entre 10% y 14%. Tal comportamiento en ese material se debe posiblemente al mayor valor de densidad básica del mismo, lo que pudo haber ofrecido mayor resistencia en la impregnación de las astillas por el licor de cocción y disminuyó el nivel de deslignificación, conforme describe Almeida (2006) citando a Wer (1991).

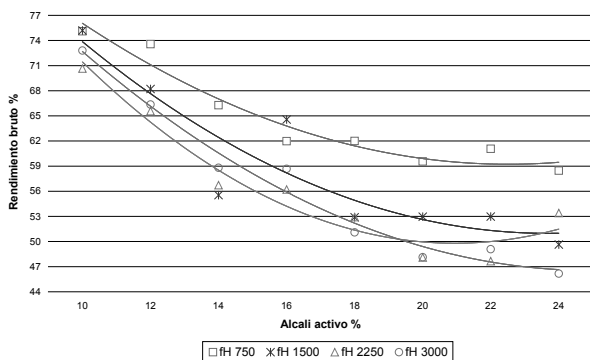


Gráfico 5. Rendimiento bruto de las pulpas por álcali activo *Pinus caribaea*.

Obsérvese en el Gráfico 5 una relación álcali activo y rendimiento bruto, donde en la dosificación alcalina menor se obtienen los valores mas altos de rendimiento, los cuales sufren una reducción a medida que el álcali activo va aumentando, ello ocurre debido a que hay una menor deslignificación de la madera cuando la alcalinidad es mas baja, lo que a su vez hace que las pulpas resultantes posean mayor contenido de rechazos.

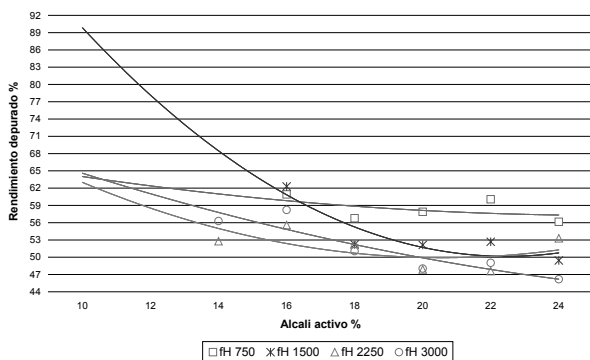


Gráfico 6. Rendimiento depurado de las pulpas por álcali activo *Pinus caribaea*.

Nótese por los resultados obtenidos en el Gráfico 6, una reducción significativa del rendimiento depurado a medida que se aumenta la dosis de álcali activo en el proceso de pulpificación. Tal comportamiento está asociado a la pérdida de carbohidratos, principalmente a los polisacáridos de bajo peso molecular, ocasionado por las reacciones de degradación y disolución de los mismos.

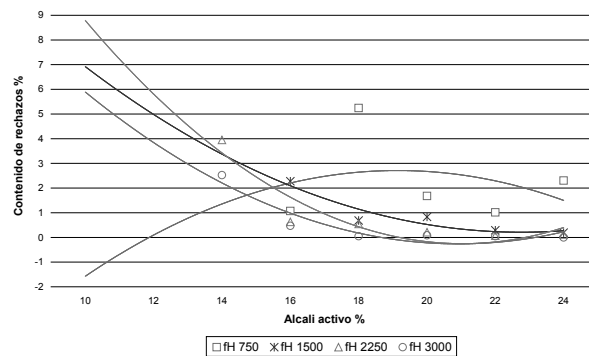
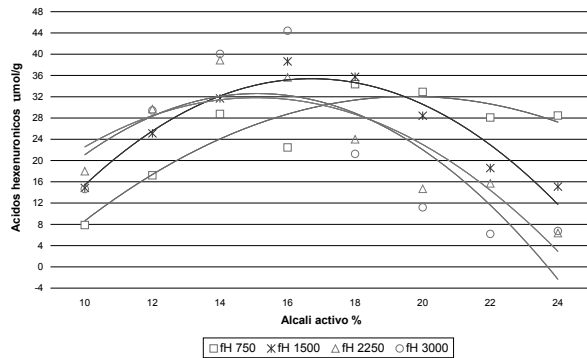


Gráfico 7. Contenido de rechazos de las pulpas por álcali activo *Pinus caribaea*.

Los contenidos de rechazos obtenidos en los diferentes tratamientos para el material estudiado pueden ser considerados bajos, apenas el tratamiento con 10% de álcali activo presentó valor mayor, el cual puede ser atribuido a la falta de álcali activo de ese tratamiento, evidenciando la importancia de la carga alcalina para el proceso de pulpeo.

El bajo contenido de rechazos obtenido en los tratamientos puede ser atribuido a la calidad de las astillas, la composición química de los materiales estudiados, y principalmente por el hecho de que el cocimiento presenta un período largo de impregnación. Los resultados semejantes obtenidos para los materiales indican también que el cocimiento presenta menor sensibilidad al parámetro de densidad básica de la madera. Nótese en el Gráfico 7 una anomalía en la curva para el factor H 750, lo que pudo haber ocurrido por defectos de la madera utilizada para el ensayo (madera de reacción, entre otros), sin embargo el resultado esperado era un mayor contenido de rechazos para factor H 750, influenciado por un tiempo menor de cocción, y para los tratamientos con mayor carga alcalina, justificable debido a la mayor cantidad de constituyentes químicos del propio licor de cocción (material inorgánico) y también materiales inorgánicos disueltos en el licor negro (lignina y carbohidratos) oriundos de las reacciones de

deslignificación y de la queda del rendimiento depurado, conforme observado anteriormente.

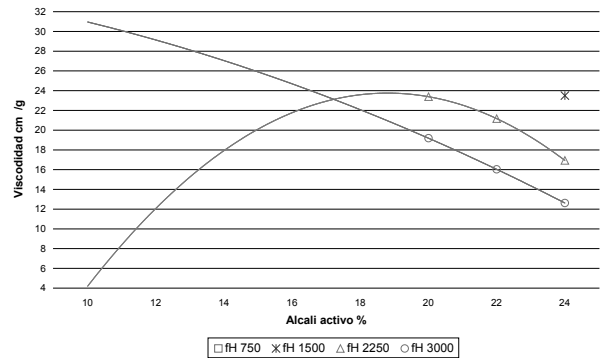


**Gráfico 8. Ácidos hexenurónicos de las pulpas por álcali activo *Pinus caribaea*.**

Los resultados del Gráfico 8 muestran que la formación de los ácidos hexenurónicos está influenciada por el nivel de álcali utilizado en la cocción, confirmando los resultados obtenidos por Almeida (2003) citando a Chai et al. (2001), cuando describe que la carga alcalina y el factor H son las principales variables que influyen la formación de los ácidos hexenurónicos durante la pulpificación kraft. Nótese un aumento del contenido de ácidos hexenurónicos de la pulpa cuando la carga alcalina aumenta de 14 hasta 16%, y, pasada esta, se observa una reducción significativa de los ácidos hexenurónicos de la pulpa, posiblemente debido a las disoluciones de las hemicelulosas y la degradación de los ácidos hexenurónicos, creándose un punto de inflexión.

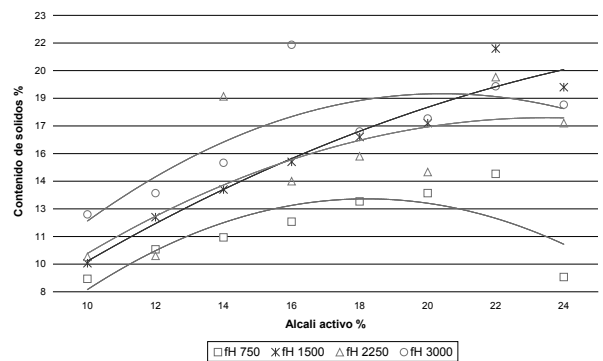
El contenido de ácidos hexenurónicos fue reduciendo cuando la carga de álcali fue aumentado del 16 a 24%.

En este estudio los resultados de los ácidos hexenurónicos varían de 1,14 a 44,415  $\mu\text{mol/g}$  en la pulpa, los valores de ácidos hexenurónicos obtenidos para niveles de álcali bajos fueron los menores y como el nivel de álcali activo fue aplicado crecientemente, entonces el nivel de ácidos hexenurónicos presento una tendencia inversa, decreciente, notable desde una dosis del 18 % de álcali activo. Mientras más alto sea el nivel de álcali activo, la concentración de ácidos hexenurónicos es más baja.



**Gráfico 9. Viscosidad de las pulpas por álcali activo *Pinus caribaea*.**

Se realizó la prueba de viscosidad a las pulpas con los mejores números kappa, es decir a las pulpas que alcanzaron un número kappa igual o menor que 35. Los resultados alcanzaron variación de entre 8,13 y 33,62  $\text{cm}^3/\text{gr}$ .



**Gráfico 10. Contenido de sólidos en los licores por álcali activo *Pinus caribaea*.**

En el Gráfico 10 se evidencian resultados en general normales, ya que la ocurrencia de los sólidos en los licores negros es producto de la presencia de sustancias inorgánicas, tales como calcio, sílice, entre otros, existiendo diferencias de pequeñas a grandes, explicadas por las diferencias tanto fisiológicas como químicas de los individuos usados. A mayor álcali mayor contenido de sólidos. Obsérvese que hubo una disminución en el contenido de sólidos para el factor H 750, álcali activo 24% que se puede atribuir a defectos de la madera.

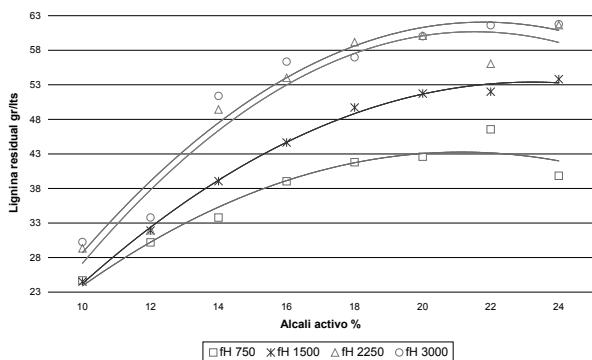


Gráfico 11. Lignina residual en los licores por álcali activo *Pinus caribaea*.

En el Grafico 11 se evidencian las diferencias de lignina residual en el licor negro entre factores H y álcalis activos, nótese que en algunos casos existen pequeñas discrepancias y/o aumentos de los niveles, debido a que la mezcla de materia prima era muy heterogénea, siendo aun así muy pequeñas las diferencias.

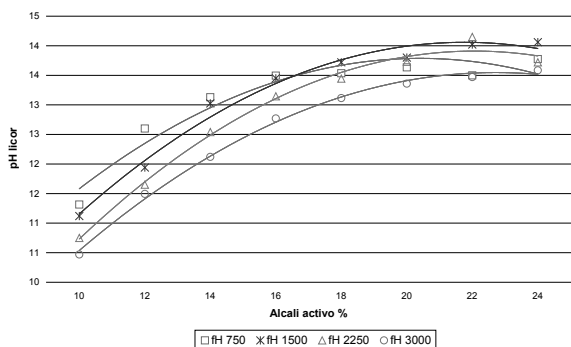


Gráfico 12. pH de los licores negros por álcali activo *Pinus caribaea*.

En todas las cocciones realizadas, el pH se mantuvo por encima de 10, lo que indica que no hubo ninguna re-precipitación de lignina.

### 3.7.2.2 Rendimiento por número kappa:

En los siguientes gráficos se presentan los resultados obtenidos de rendimiento bruto y depurado por número kappa para cada factor H aplicado (750, 1500, 2250 y 3000) bajo la influencia de los ocho (8) álcalis activos aplicados.

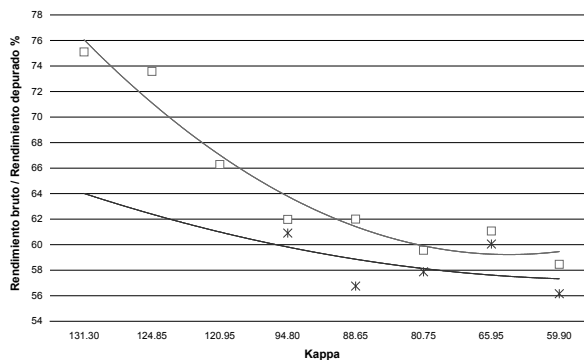


Gráfico 13. Rendimientos bruto y depurado de las pulpas de *Pinus caribaea* por numero kappa del factor H 750.

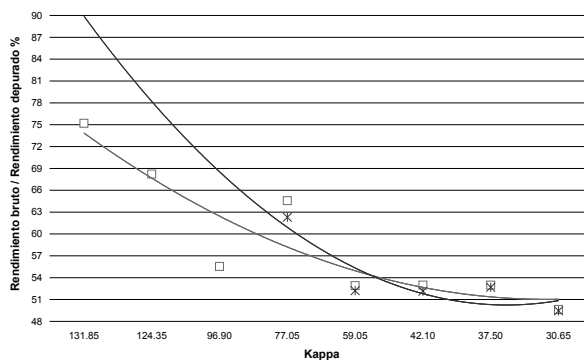


Gráfico 14. Rendimientos bruto y depurado de las pulpas de *Pinus caribaea* por numero kappa del factor H 1500.

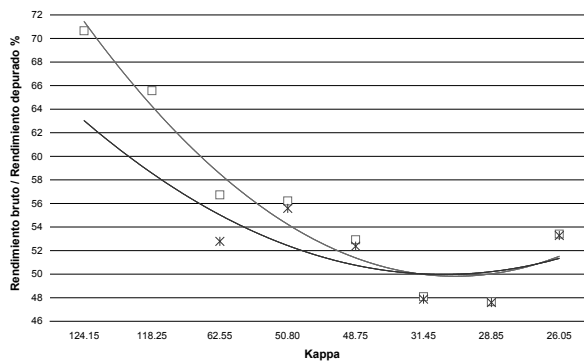


Gráfico 15. Rendimientos bruto y depurado de las pulpas de *Pinus caribaea* por numero kappa del factor H 2250.



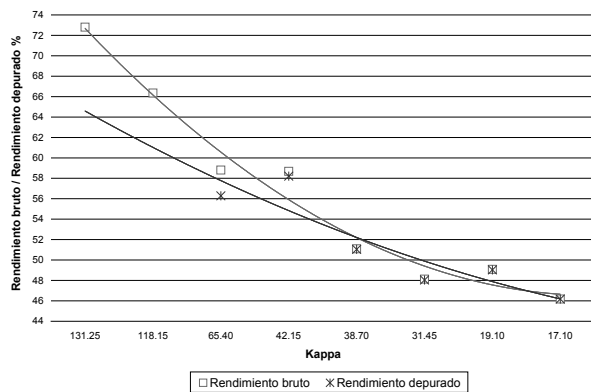


Gráfico 16. Rendimientos bruto y depurado de las pulpas de *Pinus caribaea* por numero kappa del factor H 3000.

Comparando los resultados obtenidos para los factor H aplicados, se nota en primer lugar que existe una relación: número kappa bajo - rendimiento depurado bajo y viceversa, donde en los valores kappa en torno a 30 se evidencia una significativa reducción del rendimiento depurado, ello posiblemente debido a que se generan las mayores cantidades de rechazos, los cuales a su vez están asociados a la carga de álcali baja aplicada en las cocciones.

### 3.7.2.3 Carga alcalina consumida:

En el gráfico 19 se observan los valores de álcali activo aplicado y los resultados obtenidos de álcali activo residual y consumido.

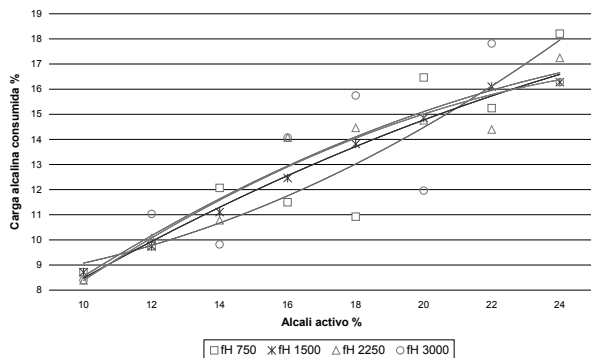


Gráfico 17. Carga alcalina consumida por álcali activo *Pinus caribaea*.

Como se esperaba, el aumento del nivel de deslignificación por medio del incremento de la carga alcalina llevó a un mayor consumo de álcali, conforme muestra la figura. Nótese una correlación en las curvas para factor H 1500, 2250 y 3000 y una ligera discrepancia para la curva de factor H 750, presentando un mayor consumo de álcali para

los tratamientos con 14 y 20% de álcali, probablemente por una resistencia de impregnación de las astillas por el licor de cocimiento, y a su vez un menor consumo en los tratamientos con 18 y 20%.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 4.1 Conclusiones

De los resultados obtenidos de la caracterización del material (madera de *Pinus caribaea*), se encontró que de los espesores presentados por las astillas un 97% del total de la muestra estudiada cumplía con los espesores óptimos recomendados (de 2 – 8 mm), la media obtenida fue de 4,21 mm. En cuanto al largo se encontró que un 87% cumple con el rango óptimo recomendado (de 10 – 30 mm). La media obtenida fue de 22,87 mm.

Con respecto a la densidad básica, el valor encontrado fue de 0,433 gr/cm<sup>3</sup>, valor que está dentro de los rangos recomendados para la producción de pulpa celulósica de óptima a buena calidad (0,41 a 0,46 gr/cm<sup>3</sup>).

En relación a la composición química, los valores encontrados en las holocelulosas (64,98%), lignina total (29,56%) y extractivos totales (5,97%), valores típicos de la madera de *Pinus caribaea*. Se puede concluir que dicha materia prima representa efectivamente material comercialmente utilizado para la producción de pulpa celulósica de fibra larga.

Referente a la caracterización morfológica de las traqueidas los valores encontrados fueron los siguientes: longitud 5,4 mm, diámetro externo 43,8 μm, diámetro interno 30,2 μm y espesor de pared 6,8 μm. Se procedió a calcular los diferentes índices y coeficiente, teniendo los siguientes resultados: fracción de pared 31,05%, lo cual indica que la celulosa de *pinus caribaea* es de poca calidad con fibras poco flexibles y rígidas, presentando baja absorción de agua. Coeficiente de flexibilidad de 69.17, lo cual indica que las fibras son flexibles. Índice de afieltramiento 115,091 lo cual indica que las fibras son extremadamente fieltrantes y por último índice de Runkel 0,4488, lo cual indica que la celulosa es de muy buena calidad, adecuada para la formación de papeles denominados cristales (papeles densos y fuertes) con buena unión entre fibras.

De los resultados obtenidos al evaluar las pulpas y licores de las cocciones de *Pinus caribaea* para factor H 750,

1500, 2250 y 3000 con variaciones en las cargas alcalinas de 10, 12, 14, 16, 18, 20 y 24%, se puede señalar que de los cuatro tratamientos aplicados, los correspondientes a FH 750 y 1500 presentaron los números kappa más altos, encontrándose que para niveles de álcali activo entre 10 y 14% con pulpas semiquímicas. La curva del número kappa comenzó con altos valores y fue disminuyendo a medida que la dosis de álcali activo y tiempo de cocción fue aumentando. Los valores variaron entre 131,85 (máximo, encontrado en FH 1500, álcali activo de 10%) a 17,1 (mínimo, encontrándose en FH 3000, álcali activo de 24%).

En cuanto al rendimiento bruto, fueron obtenidos valores de 75,2% (máximo, encontrándose en FH 1500, álcali activo de 10%) y 46,18% (mínimo, encontrándose en FH 3000, álcali activo de 24%), presentando los valores más altos en pulpas tratadas con álcalis activos y factor H menores. Se hace notar la relación directa existente entre el número kappa y el rendimiento bruto.

Para el rendimiento depurado, los valores obtenidos variaron de 62,3% (encontrándose en FH 1500, álcali activo de 16%) a 46,18% (encontrándose en FH 3000, álcali activo de 24%). Los valores de rendimiento depurado más bajos son aquellos en los cuales el cocimiento fue sometido a un álcali activo y tiempos de cocción más altos.

El contenido de ácidos hexenurónicos presente en la pulpa está influenciado por la carga alcalina aplicada, siendo el punto máximo obtenido para una dosis de álcali activo de 24%, factor H 3000 con un valor de 17,1  $\mu\text{mol}/\text{gr}$ . Los niveles de ácidos hexenurónicos formados con el álcali activo del 10% fueron inferiores, los valores a su vez aumentaron con la dosis de álcali activo, hasta aproximadamente el 16%, donde se presenta un punto de inflexión. Seguido de esto, los niveles de ácidos hexenurónicos mostraron una tendencia a disminuir.

Se observaron valores de viscosidad entre 12  $\text{cm}^3/\text{gr}$  (mínimo) y 23  $\text{cm}^3/\text{gr}$  (máximo).

En cuanto a los valores resultantes de la lignina residual de los licores, resultaron valores de 24,05  $\text{gr}/\text{lts}$  (mínimo) y 63,84  $\text{gr}/\text{lts}$  (máximo).

Se observaron valores de contenidos de sólidos de 8,7% (mínimo) y 21,4% (máximo).

Se observaron valores de pH de 10,47 (mínimo) y 14,06 (máximo), lo cual indica que no ocurrió re-precipitación de lignina o hemicelulosas en la pulpa resultante.

Con respecto a la carga alcalina consumida los valores encontrados dependen del tiempo de cocción y del álcali activo aplicado. Con respecto al álcali residual en todos los casos queda algún remanente, aunque en su gran mayoría insuficiente (lo deseado sería de 5 a 15  $\text{g}/\text{l}$ , para asegurar la no interrupción de la deslignificación y, para al igual que con el pH se asegure la no condensación y precipitación de lignina sobre las fibras, lo cual en este caso seguramente aconteció, aunque aparentemente sin provocar modificaciones graves. Mientras mayor fue la carga alcalina aplicada, mayor fue el álcali residual.

Para el rendimiento bruto y parámetros de rendimiento depurado, número kappa y viscosidad, fue notada una tendencia en decrecimiento o disminución entretanto el álcali activo aumentaba, como se esperaba.

Del total de 64 pulpas obtenidas, resultaron 19 pulpas semiquímicas (números kappa con rangos mínimos y máximos de 96,90 y 131,85 respectivamente) y 45 pulpas químicas; de las cuales 31 corresponden a pulpas químicas no blanqueables y el resto -14- a pulpas químicas blanqueables.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Almeida, F. (2003). **Influencia da carga alcalina no proceso de pulpação kraft lo-solids® para madeiras de eucalipto**. São Paulo – Brasil.
- Andrade, J.; Zvinakevicius, C.; Foelkel, C. (1978). **Estudos sobre a influência da espessura dos cavacos de eucalipto sobre a qualidade da celulose kraft correspondente**. Revista O Papel, São Paulo, v. 39, n. 10, p. 55-59.
- Barrichelo, L. (1980). ***Pinus caribaea* var. *hondurensis* – principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose**. Circular técnica IPEF No 86.
- Carvalho, A.; Sanches, F.; Silva Junior, F.; Sacon, V. (2006). **The application of different alkali charges in the pulping process**. São Paulo – Brasil.
- Chacón, P. (2004). **Efecto del tamaño de las astillas de *Pinus caribaea*, *Gmelina arborea* y *Eucalyptus spp*, en las propiedades de resistencia de sus pulpas**. Tesis de grado. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela.
- Chai, S.; Zhu, Y.; Luo, Q.; Li, J. (2003). **Attenuated total reflection UV spectroscopy for simultaneous analysis of alkali, sulphide and dissolved lignin in pulping liquors**. Journal of pulp and paper science, vol. 29, n°6, pp. 204-207.
- Chai, S.; Zhu, Y.; Li, J. (2001). **A simple and rapid method to determine hexenuronic acids groups in chemical pulp**. Journal of pulp and paper science, vol. 27, n°5, pp. 165-169.
- Davila, J. (2004). **Determinación del porcentaje óptimo de sulfidéz**. Tesis de grado. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela.
- ECODES (Fundación Ecología y Desarrollo). (2001). **Fibras utilizadas para la producción de papel**. Documento en línea, disponible en <http://www.ecodes.org/lifepapel/htm/info/tecnica/ciclo/fibrasv.htm>. Consulta realizada el día 10 de octubre de 2006.
- El Diario de Guayana (2006). **Planta de pulpa y papel impulsa CVG Proforca**. Documento en línea, disponible en [http://www.eldiariodeguayana.com.ve/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=12173](http://www.eldiariodeguayana.com.ve/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=12173). Consulta realizada el día 21 de noviembre de 2006.
- FAO (1999). **Antecedentes forestales de Venezuela**. Documento en línea, disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/AD401S/AD401s03.htm>. Consulta realizada el día 21 de noviembre de 2006.
- Foelkel, C.; Brasil, M. y Barrichelo, L. (1971). **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. Revista IPEF n.2/3, p.65-74.
- Foelkel, C. (1977). **A penetração de licores de cozimento no interior da madeira**. Viçosa: UFV, CENIBRA.
- Foelkel, C.; Mora, E.; Menochelli, S. (1992). **Densidade básica: Sua verdadeira utilização como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção d celulose**. Revista O papel, v.53, n5, 5p.
- Léon, W. (2005). **Anatomía de la madera**. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela.
- Lombardo, C. y Padilla, A. (1998). **Manual teórico práctico de conversión química de la madera y química ambiental**. Mérida - Venezuela. Editorial Venezolana C.A. Primera edición.
- Lombardo, C. (2004). **Técnicas de pulpificación**. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela.
- Luna, L. (2004). **Ventajas comparativas de Venezuela en el sector forestal**. Revista forestal latinoamericana. N° 35/2004. Págs. 01-10.
- MIBAM (Ministerio de Industrias Básicas y Minería). (2004). **Website de CVG Proforca**. Documento en línea, disponible en <http://www.cvgproforca.com/index.php>. Consulta realizada el día 22 de octubre de 2006.
- MIBAM (Ministerio de Industrias Básicas y Minería). (2006). **Productos papeleros de Venezuela C.A CVG-Proforca EPS – PULPACA**. Documento en línea, disponible en <http://www.cvgproforca.com/index.php>. Consulta realizada el día 22 de noviembre de 2006.
- Mogollón, G. y Aguilera, A. (2002). **Guía teórica y práctica de morfología de la fibra**. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela.
- Molinari, L. y Gutiérrez, V. (1989). **Análisis morfológico de fibras y determinación del peso específico básico de especies vegetales y evaluación de dos ensayos de eucaliptos spp. en la finca Santo Tomas de la empresa Smurfit Cartón de Venezuela en Sarare Edo. Lara**. Informe de pasantías. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela.
- Peña, V. y Aguilera, A. (2003). **Introducción a la fabricación de pulpa y papel**. Corporación Centro de Capacitación y Desarrollo Tecnológico para la Industria Papelera (CENPAPEL). Colombia.
- Ribeiro, F. (2005). **Avaliação do processo SuperBatch™ de polpação de *Pinus taeda***. Tesis de maestría. Escuela Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo – Brasil.

- Reyes, E. (2003). **Uso alternativo del Kenaf como fuente de fibra larga en la fabricación de pulpa para papel en formulaciones con fibra de pino caribe**. Tesis de grado. Universidad de Los Andes. Mérida – Venezuela.
- Silva Junior, F. (1993). Utilização múltipla da madeira de *Pinus caribaea* var. hondurensis para produção de celulose Kraft. Série Técnica IPEF, v.9, n.27, p.56 – 62. Piracicaba, SP.
- Silva Junior, F. (1997). **Polpação kraft de eucalipto com adição de antraquinona, polissulfetos e surfactante**. 1997. 184 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Smook, G. (1994). **Handbook for pulp & paper technologists**. Vancouver. Angus Wide Publications.
- TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) (1998). **Test methods**. Atlanta: Tappi Press.
- Torres, A., Márquez, O., Hernández, R. y Franco, W. (1998). **Ensayos de fertilización con fosforita en plantaciones forestales del occidente y el oriente de Venezuela**. Documento en línea, disponible en [http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagro/v17\\_14/v171a180.html](http://www.redpav-fpolar.info.ve/fagro/v17_14/v171a180.html). Consulta realizada el día 10 de octubre de 2006.
- Vazquez, I. (1997). **Ficha Técnica No 22, pino caribe (*Pinus caribaea*)**. Mérida, Venezuela. IFLA (Instituto Forestal Latino Americano). Segunda edición.