

**INFLUENCIA DE LA LIGNINA RESIDUAL EN LAS PROPIEDADES FÍSICO -  
MECÁNICAS DE LA PULPA QUÍMICA AL SULFATO DE HUAMANSAMANA**  
(*Jacaranda copaia* Aubl.)

Enrique Gonzáles Mora<sup>1</sup>  
Jorge Bueno Zárate<sup>2</sup>

## RESUMEN

Investigando con pulpa química al sulfato de huamansamana (*Jacaranda copaia* Aubl) variando tiempo de digestión y álcali activo se obtuvo diferentes cantidades de lignina residual. Se encontraron correlaciones altamente significativas con las determinaciones químicas y el rendimiento de pulpa. Con la facilidad de refinado, utilizando la correlación parcial, el efecto de la lignina residual fue mayormente negativa. Con la blancura y espesor las correlaciones con la lignina fueron altamente significativas pero en cambio con la porosidad la correlación fue baja. Con las propiedades mecánicas, utilizando la correlación parcial, la influencia de la lignina residual fue negativa en la mayoría de los casos.

## SUMMARY

Working with kraft pulp of huamansamana (*Jacaranda copaia* Aubl) and changing cooking times and active alkali concentrations different quantities of residual lignin were obtained. Very significant correlations were found with the chemical determinations and the pulp yields, with beating (refining) using a partial correlation, the effect of residual lignin was found to be negative. With brightness and sheet thickness the correlation was found to be significant. It was low for porosity. With the chemical properties of the pulps using a partial correlations, the effect of residual lignin was found to be negative in most cases.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante la obtención de pulpa química al sulfato de cualquier material lignocelulósico si bien se busca que la deslignificación sea efectiva en base a la optimización de las variables de digestión logrando eliminar el factor cohesión de las fibras, las cantidades de lignina residual en la pulpa muestran de algún modo influencia en las propiedades físicas y mecánicas de la pulpa así como en la facilidad de refinado existiendo además asociación con sus determinaciones químicas, razones que son de importancia para realizar investigaciones sobre lo mencionado. Además existen divergencias sobre las cantidades que afecten al mínimo las propiedades mencionadas, por lo que es necesario establecer un óptimo de deslignificación en las pulpas obtenidas por este proceso. También al establecer el nivel óptimo de deslignificación debe considerarse la pérdida de resistencia de la pulpa y que es comprendida por la disminución del grado de polimerización de las cadenas de celulosa; de igual modo sucede con la eliminación simultánea de los pentosanos que tendría consecuencias sobre la facilidad de refinado de la pulpa.

Los trabajos de este tipo se justifican al realizarlos con maderas de las especies que más se utilizan para fabricar pulpas químicas al sulfato o también empleando especies latifoliadas tropicales, como sería en nuestro país, que ya hallan demostrado cualidades adecuadas para la obtención de pulpa aparte de otras características requeridas en maderas para pulpa como son baja densidad, rápido

<sup>1</sup> Profesor Contratado, Departamento Académico de Industrias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina.

<sup>2</sup> Profesor Principal, Departamento Académico de Industrias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina.

crecimiento, relativamente abundantes, etc. Esto permitiría además establecer una tecnología apropiada en cada una de las especies que presentan las características antes mencionadas.

La madera de huamansamana (*Jacaranda copaia* Aubl) que cumple con las condiciones mencionadas en el párrafo anterior ha sido utilizada en el presente trabajo para determinar la influencia de la lignina residual en las propiedades de su pulpa química al sulfato; la madera ha sido obtenida de la zona de Nauta, Loreto.

## 2. REVISION DE LITERATURA

Macbride (19) y Lao (16), entre otros, mencionan a la especie *Jacaranda copaia* para la Amazonía Peruana, hallándose también en Fortaleza, Nicaragua, Panamá y otros bosques húmedos del norte de América del Sur. Souza (29) describe la huamansamana como un árbol mediano de 30 m de altura, con diámetro promedio de 30 cm, fuste cilíndrico, de corteza agrietada lenticelar sin exudaciones.

Bueno (3,5,7) en diversos trabajos estudia a la pulpa de huamansamana encontrando resultados satisfactorios para la especie en sus ensayos de resistencia. Huatuco (15) en trabajos de blanqueo con pulpa química, al sulfato de huamansamana encuentra que las pulpas blanqueadas son más fáciles de refinar debido a la eliminación de la lignina y otras impurezas de las fibras.

Britt (2), Libby (17) y Navarro (22) mencionan que la celulosa, hemicelulosa y lignina son los principales componentes de la madera, agregando que las fibras de madera están cementadas entre sí a través de la lámina media que es básicamente lignina. Rydholm (28) y la Universidad de Quebec (31) proponen la siguiente distribución de los principales componentes químicos en las fibras de madera:

- i) En la lámina media, 70 a 85 por ciento de lignina;
- ii) En la pared primaria, 15 por ciento de celulosa, 15 por ciento hemicelulosa y 70 por ciento lignina;
- iii) En la pared secundaria, 50 por ciento celulosa, 35 por ciento hemicelulosa y 15 por ciento lignina.

Remarcan los citados autores que la lignina de la pared celular es diferente en su estructura que la lignina de la lámina media.

Brauns (1). Libby (17), Quinde (26) y la Universidad de Quebec (31) dicen que la lignina es un polímero tridimensional formado por unidades de fenilpropano y se encuentra asociado con la celulosa y otros carbohidratos sin que lleguen a formar estructuras químicas; además Rydholm (28) manifiesta que la lignina al ser amorfa se sitúa junto a las hemicelulosas en una relación de proporción 1:1.

Casey (9) al referirse a la deslignificación dice que ésta es facilitada por la magnitud de diferencias en propiedades químicas entre la lignina y los otros componentes de las fibras. Al respecto, Rydholm (28) define el punto de liberación de las fibras al punto límite entre las pulpas químicas y semiquímicas, indicando que es el estado en el que las fibras comienzan a separarse sin mayor esfuerzo mecánico, variando con la especie y método de obtención de pulpa.

Whiting y Goring, mencionados por Wolfe (32) dicen que las reacciones de la lignina se dividen en 3 fases:

- i) De reacción inicial, con poca deslignificación.

- ii) De mayor deslignificación, se remueve mucho de la lignina en forma rápida y menos destructiva hacia los carbohidratos.
- iii) De lignina residual, en esta fase termina la cocción y el contenido de lignina varía de 1 a 4 por ciento dependiendo de la especie y las condiciones de digestión.

Britt (2), Bueno (6), Libby (17) y Rydholm (28) señalan la importancia del proceso al sulfato dada su comparativa simplicidad y rapidez del proceso obteniéndole una pulpa más resistente a partir de cualquier material lignocelulósico natural, además el segundo de los autores (6) agrega que los rendimientos de obtención de este tipo de pulpa química varían de 45 a 50 por ciento respecto al peso seco de madera.

Casey (9) y Eur-Control (13) dicen que la lignina en la pulpa está más localizada en la parte externa de la pared de la fibra, siendo de carácter hidrofóbica y de este modo menos adecuada para la unión entre las fibras, además Rodríguez J. (27) agrega que la lignina incrustada en las pulpas sin blanquear las hace menos flexibles que las pulpas blanqueadas.

Libby (17), Navarro (22), Navarro S. (23) y Rydholm (28) al referirse a la determinación de la lignina residual en la pulpa dicen que es el más importante de todos los análisis de la pulpa y que vendría a ser la base para los resultados de la digestión y la evaluación de la calidad de la pulpa mencionándose métodos directos, por determinación gravimétrica, y métodos indirectos como el índice del cloro que se basa en las reacciones de cloración de la lignina. Navarro (22) y Quinde (26) al referirse a los pentosanos los definen como hemicelulosas formadas por pentosas, del tipo xilanos en latifoliadas, siendo complicada su cuantificación que sólo se logra por métodos indirectos a través de la conversión del pentosano en furfural por acción del ácido clorhídrico. Libby. (17), Navarro S. (23) y Rydholm (28) sostienen que la viscosidad de la pulpa mide el grado de polimerización de la muestra, principalmente de la celulosa agregando que esta determinación evalúa el estado de degradación de la pulpa que se manifiesta durante la digestión por acción de sus variables, reflejándose en una pérdida de resistencia.

Eur-Control (13). Mac Donald (21) y Pilling (25) al referirse al refinado lo definen como un tratamiento mecánico sobre las fibras cuyo objetivo final es aumentar la resistencia de la pulpa. Bueno (6) y Eur-Control (12) indican que normalmente para el control de refinado se utiliza el método de Schopper Riegler basado en la drenabilidad de la pulpa.

Libby (18) y Rodríguez J. (27) señalan que en el caso de pulpas al sulfato la facilidad de refinado es en forma inversamente proporcional al contenido de lignina y las pulpas que, contengan altos porcentajes de este componente es probable que tengan una alta drenabilidad y lentas propiedades de refinado; Britt (2) menciona que el efecto de la lignina durante el refinado se debe a la gran rigidez y al menor hinchamiento de las fibras cuando ellas se cubren de una capa de lignina. Libby (18) y Rodríguez J. (27) dicen que las hemicelulosas al ser altamente hidrofílicas son la causa que la fibra a traiga agua, se hinche y se vuelva plástica haciéndola más dócil a la acción física del refinado. Navarro S. (23) y Costa Coll (10) señalan que el hinchamiento es la absorción de agua por imbibición por los poros y por absorción capilar, siendo favorecido por un alto contenido de pentosanos en las fibras.

Rydholm (28) menciona que las más importantes propiedades ópticas son la blancura, brillantez y opacidad, todas ellas se refieren a la habilidad de la pulpa a reflejar o absorber la luz. Casey (9) agrega que los grupos cromofóricos de la lignina son responsables del 90 por ciento del color oscuro, de la pulpa.

Libby (18) señala que la voluminosidad del papel se determina midiendo el espesor de una pila de hojas de papel. Britt (2) menciona que los papeles densos se logran con pulpas menos rígidas, caso contrario en pulpas con altos contenidos de lignina se producen papeles voluminosos y poco densos. Sobre la porosidad, Libby (18) la define como la resistencia que el papel o cartón ofrece al paso del aire; además, Britt (2) agrega que la palabra porosidad mide el promedio de volumen de poros y su relación con el volumen total del material.

Britt (2) y Rydholm (28) mencionan que las propiedades mecánicas o de resistencia de la pulpa para papel dependen de la estructura dimensional y naturaleza química de la fibra y las condiciones de digestión, blanqueo, refinado y otros factores como son dimensiones de las fibras, densidad y resistencia interna, daños físicos y químicos a las cadenas de celulosa y hemicelulosa, naturaleza y distribución de la lignina residual. Casey (9) y Stradal (30) mencionan que en general la resistencia de la pulpa disminuye con el aumento del rendimiento debido a los mayores porcentajes de lignina residual, lo que repercute en la disminución de los enlaces de resistencia y la reducción de la flexibilidad, lo que admite menos contacto entre las fibras al formarse las hojas. Rydholm (28) dice que experimentos con microdissección revelaron el efecto esperado de disminución de adhesión entre la superficie de las fibras con la presencia de la lignina, especulándose sobre la cantidad que puede ser tolerada sin algo de interferencia con la unión interfibrilar; el mismo autor explica que al ser removida la lignina las fibras se vuelven más flexibles ocurriendo además un aumento de superficie formándose uniones interfibrilares de buena resistencia.

Por último, Bueno (7) en un trabajo con 95 especies latifoliadas peruanas encuentra correlaciones negativas entre 3 valores de resistencia y el índice de cloro, que está en función de la deslignificación, agregando que este valor presenta un grado de asociación indefinido respecto a la clasificación de las especies según los parámetros de resistencia.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **1) Lugar**

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Pulpa y Papel del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **2) Materiales y Equipos**

La muestra estudiada está constituida por la madera de 5 árboles de *Jacaranda copaia* Aubl. procedentes de la zona de Nauta, Loreto y fueron colectadas a través del Convenio UNA-MIT: "Estudio de Posibilidades Industriales de Maderas Nacionales para Fabricación de Pulpa para Papel". La identificación de la especie estuvo a cargo de la sección Dendrología del Departamento Académico de Manejo Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Los reactivos y equipos utilizados fueron los especificados por los métodos y procedimientos aplicados en el presente trabajo.

#### **3) Métodos y Procedimientos**

Las muestras de madera de la especie mencionada fueron reducidas a astillas de 0.5 x 1.5 x 3.0 cm y luego mezcladas para la obtención de pulpa.

Para la deslignificación se utilizó el digestor rotatorio de 15 l. Trabajando en las siguientes condiciones para el proceso químico al sulfato:

Reactivos	:	NaOH Na <sub>2</sub> S
Sulfidez	:	25o/o
Relación de reactivo de deslignificación / madera seca	:	4/1
Temperatura máxima	:	160°C
Cantidad de materia seca	:	600 g

En el Cuadro No.1 se presentan las condiciones de álcali activo, periodo de elevación de temperatura y periodo a temperatura máxima bajo las cuales se obtuvieron las pulpas del presente estudio. Luego de la deslignificación, la pulpa se lavó con agua desionizada sobre malla No. 150, luego fue centrifugada y homogenizada en un Cripto Perles.

**CUADRO No 1**  
**CONDICIONES DE DIGESTION DE LAS 15 PULPAS OBTENIDAS DEL PRESENTE ESTUDIO**

Pulpa No.	Alcali activo (o/o) (x)	NaOH (olo) (x)	Na <sub>2</sub> S (olo) (x)	Periodo de Elevación de Temperatura (minutos)	Periodo a Temperatura Máxima (minutos)	Tiempo Total (minutos)
1	20	15	5	60	60	120
2	20	15	5	60	90	150
3	20	15	5	60	120	180
4	20	15	5	60	150	210
5	20	15	5	60	180	240
6	22	16,5	5,5	60	60	120
7	22	16,5	5,5	60	90	150
8	22	16,5	5,5	60	120	180
9	22	16,5	5,5	60	150	210
10	22	16,5	5,5	60	180	240
11	24	18	6	60	60	120
12	24	18	6	60	90	150
13	24	18	6	60	120	180
14	24	18	6	60	150	210
15	24	18	6	60	180	240

(x) Porcentaje expresados como Na<sub>2</sub>O.

La pulpa se refino de acuerdo a SCANC 24:67, obteniéndose 6 niveles de refinado correspondiente a 0, 1500, 3000, 4500, 6000 y 7500 vueltas en el refinador PFI. Para el control de refinado se aplicó el método Schopper Riegler (°SR) según SCAN-M 3.65.

La formación y acondicionamiento de hojas se hizo según TAPPI 205 os-71 e ITINTEC 272.010 respectivamente. La porosidad, blancura y resistencia al plegado se determinó según ITINTEC 272:018, 272:033 y 272:027 respectivamente. El espesor, resistencia a la tensión, resistencia al reventamiento, resistencia al rasgado y alargamiento por tensión según la norma TAPPI 220 os-71.

Para las pulpas obtenidas se determinó el índice de cloro según SCAN-C 29:72. la lignina residual por el método de Jayme y Schemp, pentosanos por el método Bromuro - Bromato generalizado, viscosidad según AFNOR-T 12-005 y el grado de polimerización por el método viscosimétrico.

Para evaluar la influencia de la lignina residual sobre las propiedades de la pulpa se utilizó la correlación simple ( $r$ ) determinándose la prueba de significación de Student o prueba "t" para los coeficientes obtenidos. También se utilizó la correlación parcial ( $r_{12.3}$ ) cuyo coeficiente, obtenido por el método de los residuos, analiza la relación entre 2 variables eliminando la influencia de una tercera variable, como es en los casos de la lignina residual con la facilidad de refinado y las propiedades mecánicas de la pulpa, eliminando estadísticamente la influencia de los pentosanos y el grado de polimerización respectivamente.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos sobre rendimiento y determinaciones químicas de las pulpas así como el análisis de correlación respectivo con la lignina residual se encuentran en el cuadro No. 2. En el cuadro No. 3 están los resultados obtenidos para la facilidad de refinado y el análisis de correlación simple y parcial se encuentran en el cuadro No. 4. Los valores de las propiedades físicas y mecánicas de las pulpas, ajustados a 45°SR, están en el cuadro No. 5 y los análisis de correlación con la lignina residual se encuentran en el cuadro No. 6.

#### 5. DISCUSION

En el cuadro No. 2 se observan los rendimientos de obtención de pulpa que varían de 50.44 a 44.75 por ciento y en la mayoría de los casos se encuentran dentro del rango indicado por Bueno (6) que varía de 45 a 50 por ciento. En todos los casos de las pulpas obtenidas se encuentra una tendencia de la disminución del rendimiento conforme aumenta el álcali activo y el tiempo total. En el mismo cuadro se tuvo un rango de lignina residual de 1.38 a 3.17 por ciento para las 15 pulpas obtenidas, y, al comparar con las variables de digestión observamos que al aumentar estas últimas la deslignificación es mayor, existiendo una mayor disolución de la lignina. Con respecto al índice de cloro, la tendencia es similar a la lignina residual ya que existe una buena asociación entre ambas determinaciones químicas, encontrándose un coeficiente de correlación de 0.8395 y cuyo coeficiente de determinación indica que el 70.48 por ciento de los resultados del índice de cloro son explicados por las variaciones en la lignina de la pulpa, establecido a un nivel altamente significativo; esta explicación es, según Libby (17) y Rydholm (28) debido a la relación del cloro con la lignina a través de reacciones específicas de oxidación y sustitución. En el mismo cuadro No. 2, las cantidades de pentosanos en las pulpas variaron de 10.35 a 7.78 por ciento, encontrándose una correlación con la lignina de 0.8586, estando sus resultados asociados en un 73.72 por ciento junto con las variaciones de la lignina, a un nivel altamente significativo; la explicación de esta asociación estaría dada por la condición de que las hemicelulosas, donde se incluyen los pentosanos, están fuertemente unidas a la lignina siendo la acción de los reactivos similar sobre ambos componentes, tal como lo menciona Rydholm (28). En el caso del grado de polimerización se obtuvo una correlación de 0.7413 con la lignina residual, de lo que se deduce que, mientras ocurre la deslignificación va sucediendo una degradación de las cadenas de celulosa de las fibras por acción de los reactivos químicos, tiempo y temperatura, lo que se observa en una disminución del grado de polimerización.



**CUADRO No 2**  
**RENDIMIENTO Y DETERMINACIONES QUIMICAS DE LAS PULPAS Y SUS CORRELACIONES**  
**CON LA LIGNINA RESIDUAL**

<b>Pulpa No.</b>	<b>Lignina Residual (o/o)</b>	<b>Rendimiento (r o/o)</b>	<b>Indice de Cloro (1)</b>	<b>Pentosanos (o/o)</b>	<b>Grado de Polimerización (2)</b>
1	3,17	50,44	6,61	10,31	1147
2	2,33	49,98	4,68	10,35	985
3	1,58	48,01	3,63	10,2	952
4	2,92	47,21	3,53	9,56	890
5	1,48	46,52	1,66	10,09	851
6	2,98	49,48	4,32	10,25	1102
7	2,22	49,57	3,69	10,21	984
8	2,35	47,73	3,64	9,77	906
9	1,96	47,67	2,65	9,35	770
10	1,38	45,75	1,19	7,78	752
11	2,38	48,72	4,18	9,24	1023
12	2,15	48,11	3,47	8,75	895
13	2,14	46,26	3,47	9,04	751
14	1,8	45,7	2,48	9	747
15	1,46	44,75	1,13	8,46	682
	r (3)	0,7075	0,8395	0,8586	0,7413
	1 00.r <sup>2</sup> (4)	50,05	70,48	73,72	54,95
Prueba estadística "t"		XX	XX	XX	XX

En el cuadro No. 3, al observar las variaciones de la facilidad de refinado en función de la lignina residual, a diferentes niveles de refinado, encontramos que aparentemente existe una relación directa entre las variables mencionadas tal como lo demuestra el análisis de correlación simple del cuadro No. 4, donde incluso también se observa mayor influencia de la lignina residual que los pentosanos en la facilidad de refinado, lo que no concuerda con lo mencionado por autores como Britt (2), Costa Col( 10), Libby (18), Navarro S . (23), Rodríguez J. (27) y Rydholm (28). Mediante la correlación parcial, cuyos resultados se muestran en el cuadro No. 4, el efecto simultáneo de la lignina residual y pentosanos es separado y al correlacionar nuevamente la lignina con la facilidad de refinado se encontró que el efecto fue mayormente negativo, siendo máximo al nivel de 7500 vueltas, en el refinador PFI, con un valor de correlación parcial de -0.5554, en cambio si observamos en el mismo cuadro la influencia de los pentosanos sobre el refinado, eliminando estadísticamente la influencia de la lignina residual, los valores de correlación parcial se mostraron mayormente positivos, siendo máximo al nivel de 4500 vueltas con un valor de 0.7999. Finalmente se demostraría la influencia negativa de la lignina residual y el efecto beneficioso de los pentosanos sobre el refinado de la pulpa.

En el cuadro No. 5 se encuentran los resultados de blancura, ajustados a 45 °SR, cuyos valores varían de 29.9 a 36.5 por ciento y al relacionarlas con la lignina residual, en el cuadro No. 6, se encuentra una correlación negativa de -0.6190, siendo los responsables del color oscuro de la pulpa los grupos cromofóricos y fenólicos de la lignina residual. En el caso del espesor, se observa en el mismo cuadro, un coeficiente de correlación de 0.8143 con la lignina residual, siendo el 66.31 por ciento de las variaciones del espesor debido a las variaciones en las cantidades de lignina en la pulpa; la explicación posible sería por causa de la rigidez de las fibras debido a la presencia de lignina evitando que, a un nivel dado de refinado su efecto sobre la pulpa sea menos intenso formándose un papel menos denso y más voluminoso, lo que repercute en el espesor de la pulpa. En el caso de la porosidad, de acuerdo a los resultados del cuadro No. 5, aparentemente la lignina residual muestra

poca influencia sobre esta propiedad y más bien habría mayor influencia de las cavidades vacías interfibrilares tal como lo menciona Britt (2).

**CUADRO No 3**  
**VARIACION DE LA FACILIDAD DE REFINADO EN FUNCION DE LA LIGNINA RESIDUAL DE CADA UNA DE LAS 15 PULPAS OBTENIDAS**

Pulpa No.	Lignina Residual (olo)	Niveles de Refinado (número de vueltas) (.)					
		°SR	°SR	°SR	°SR	°SR	°SR
1	3,17	22,5	35,5	42,8	49,6	56	62,1
2	2,33	20	31,2	40,2	49,2	54	64,7
3	1,58	19	29,2	38,5	44,7	51,7	64
4	2,92	21	30,2	38,2	41,7	51,4	60,5
5	1,48	19,2	27	35,2	41,4	52	57,5
6	2,98	21,5	35	38,8	47	59,2	62,2
7	2,22	22	31	38,8	46,7	59,2	68,2
8	2,35	20	31	37,5	45	51,5	640
9	1,96	20,7	30,5	38,7	43,5	52	63,8
10	1,38	19,2	26,5	32	38,5	50,5	61,5
11	2,38	20,5	35,5	39,5	44,2	49,7	56,5
12	2,15	20	28,8	37	41,7	51,2	63,5
13	2,14	21	27,5	32,8	38,6	51	63,5
14	1,8	20,2	27,7	32,3	41,7	48,6	61,8
15	1,46	20,5	29	35,2	44,5	50	63

(.) Refinador PFI.

Los valores de los ensayos de resistencia al plegado y resistencia a la tensión tuvieron una correlación simple muy baja con la lignina residual, tal como se aprecia en el cuadro No. 6 donde también se observa que el grado de polimerización presente un mayor grado de correlación con las citadas propiedades de resistencia; al utilizar la correlación parcial entre los valores de dichas propiedades con la lignina residual, eliminando la influencia del grado de polimerización, se obtuvieron coeficientes de correlación parcial ( $r_{12.3}$ ) de -0.4602 y -0.4160 para los dobles pliegues y longitud de rotura respectivamente, lo que indicaría que al aumentar la lignina en la pulpa éstas se vuelven menos flexibles y con menor área de contacto entre ellas influyendo negativamente en ambas resistencias. En el caso del alargamiento por tensión, la correlación simple con la lignina fue negativa con un valor de -0.6150 y con el grado de polimerización fue de 0.7185, siendo la explicación similar a las resistencias antes mencionadas, además de que se encuentra un efecto beneficioso del grado de polimerización. En el mismo cuadro observando los valores de la resistencia al reventamiento, el índice respectivo presenta un valor de correlación parcial con la lignina residual, eliminando la influencia del grado de polimerización, de -0.3710, aunque el resultado no fue significativo, se puede deducir que en esta prueba hay una mayor influencia del tamaño de las cadenas de celulosa de las fibras, siendo el efecto negativo de la lignina de explicación similar a los casos anteriores. Por último, en la resistencia al rasgado los índices respectivos, ajustados a 45 SR, tuvieron una correlación simple con la lignina de la pulpa de 0.7139 y de 0.7634 con el grado de polimerización; cabe explicar que no necesariamente la lignina de la pulpa muestra una influencia directa sobre la resistencia al rasgado, ya que al disminuir las cantidades de lignina en la pulpa también disminuye el grado de polimerización debilitándose las fibras, siendo menor la resistencia al rasgado. Utilizando la correlación parcial entre la lignina y el rasgado su valor fue también positivo. Por otro lado Britt (2), Grant (14) y Mc Donald (20) señalan que un bajo grado de unión interfibrilar y el acortamiento de las fibras con el refinado muestran finalmente efectos negativos sobre la resistencia al rasgado,



aunque Rydholm (28) dice que esta prueba en pulpas químicas al sulfato es máxima en alrededor de 5 % de lignina residual.

**CUADRO No. 4**  
**CORRELACION SIMPLE Y PARCIAL DE LA LIGNINA RESIDUAL Y PENTOSANOS CON LA FACILIDAD DE REFINADO**

Nº Vueltas en el PFI	Correlación Simple				Correlación Parcial			
	Con Lignina residual	P.E.	Con pentosanos	P.E.	Con lignina residual sin pentosanos	P.E.	Con pentosanos sin lignina residual	P.E.
	r		r		r <sub>12.3</sub>		r <sub>13.2</sub>	
0	0,7479	x x	0,4444	N.S.	0,7977	x x	-0,5809	x
1500	0,7790	x x	0,6259	x	0,6043	x	-0,1334	N.S.
3000	0,6752	x x	0,7823	x x	0,0109	N.S.	0,5358	x
4500	0,5261	x	0,8004	x x	-0,5242	N.S.	0,7999	x x
6000	0,5397	x	0,6861	x x	-0,1324	N.S.	0,5160	N.S.
7500	0,0191	N.S.	0,3341	N.S.	-0,5554	x	0,6199	x

P.E. Prueba estadística "t":  
 x Significativo al nivel 0.05  
 x x Altamente Significativo al nivel 0.01  
 N.S. No Significativo



**CUADRO No 5**

**VALORES DE LSA PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS PULPAS OBTENIDAS, AJUSTADOS A 45° SR**

<b>Pulpa No.</b>	<b>°SR</b>	<b>Lignina Residual (%)</b>	<b>Blancura (%)</b>	<b>Espesor (u)</b>	<b>Porosidad (Seg/100cc)</b>	<b>Dobles Pliegues</b>	<b>Longitud de Rotura (m)</b>	<b>Alargamiento (%)</b>	<b>Indico de Reventamiento</b>	<b>Indica de Rasgado</b>
1	45	3,17	29,9	73,67	275,07	1082	9677	3,53	63,65	101,3
2	45	2,33	31,1	71,79	402,58	1280	9029	3,86	61,84	103,8
3	45	1,58	32,7	69,66	369,4	1123	9400	3,72	62,74	100
4	45	2,92	32,8	70,97	368,93	800	7961	3,35	60,2	102,3
5	45	1,48	32,6	70,2	417,6	1445	9545	3,64	61,14	97,6
6	45	2,98	32,2	73,08	262,62	1073	9843	3,4	62	101,9
7	45	2,22	32,4	70,76	408,9	1854	9690	3,84	67,26	100,4
8	45	2,35	32,8	70,6	350,12	1271	9354	3,6	62,2	102,5
9	45	1,96	33,4	69,49	417,3	1267	9526	3,72	62,24	97,8
10	45	1,38	34,5	70,05	377,72	1039	8931	3,83	61,1	97,5
11	45	2,38	32,6	72,8	287,79	963	9982	3,64	66,51	99,7
12	45	2,15	34,3	70,64	310,61	976	9366	3,48	58,61	99
13	45	2,14	35,7	71,31	271,83	676	9342	3,65	58,23	96,9
14	45	1,8	34,6	69,74	373,51	798	9497	3,73	60,23	97,8
15	45	1,46	36,5	68,78	321,47	673	9392	3,66	58,32	94,4

( ° ) Refinador PFI



**CUADRO No. 6**  
**CORRELACION SIMPLE Y PARCIAL DE LA LIGNINA RESIDUAL Y GRADO DE POLIMERIZACION (GP)**  
**CON LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS 15 PULPAS OBTENIDAS**

	Blancura	Espesor	Porosidad	Dobles pliegues	Longitud de rotura	Alargamiento tensión	Indice de reventamiento	Indicador rasgado
Correlación (1r) simple con lignina residual (2) 100. r 2	-0.6190	0.8143	-0.4877	-0.0032	-0.0442	-0.6150	0.2745	0.7139
(3) P. E.	38.32 x	66.31 x x	23.79 N.S.	0.001 N.S.	0.19 N.S.	37.82 x	7.53 N.S.	50.96 x x
Correlación (1r) simple con grado de polimerización (3) P. E.				0.3809	0.2998	0.7185	0.6309	0.7634
Correlación (4)r 12.3 parcial con lignina residual, sin (3) P.E. G P				N.S.	N.S.	x x	x	x x
					-0.4160	-0.3710	-0.3710	0.3414
				N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

- 1 Coeficiente de correlación simple
- 2 Coeficiente de determinación o/o
- 3 P.E.: Prueba estadística "t"
- x Significativo al nivel 0.05
- xx Altamente significativo al nivel 0.01
- N.S. No significativo.
- 4 Coeficiente de correlación parcial con la lignina residual eliminando la influencia del grado de polimerización.

## 6. CONCLUSIONES

1. La lignina residual muestra una relación directa con el rendimiento de obtención de pulpa y también disminuye conjuntamente con las otras determinaciones químicas a medida que las condiciones de digestión eran más energéticas.
2. La facilidad de refinado es afectada a medida que sube la cantidad de lignina en la pulpa, siendo el efecto más negativo al nivel de 7500 vueltas de refinado en el PFI.
3. Al asociar las cantidades de lignina residual con las propiedades físicas, se encuentra un efecto negativo con la blancura a un nivel significativo, un efecto positivo con el espesor a un nivel altamente significativo, siendo no significativo el efecto negativo sobre la porosidad.
4. Con las propiedades de resistencia mecánica la lignina residual, a través de la correlación parcial, se mostró negativa con la resistencia al plegado, con la r.a la tensión y con la r.al reventamiento aunque a niveles no significativos. Con el alargamiento por tensión a través de la correlación simple el efecto fue negativo con un resultado significativo. Por último con la resistencia al rasgado, se encontró una correlación positiva con la lignina de la pulpa, la que sin embargo se debe más bien al efecto producido por el grado de polimerización que está asociado directamente con las cantidades de lignina residual de la pulpa.

## BIBLIOGRAFIA

1. BRAUNS, F. "The Chemistry of lignin". Academic Press Inc. New York. 1952. 808 p.
2. BRITT, K. "Handbook of Pulp and Paper Technology". 2da. Edición, Ed. Van Nostrand. New York, 1970. 723p.
3. BUENO, J. 1970. "Aptitud Papelera de 21 Especies Forestales del Perú". Revista Forestal del Perú. Vol. 4, No. 1-2, Lima. 32-40 p.
4. -----1979. "Correlación entre Índice de cloro, Índice Kappa y Lignina residual el Pulpa química al Sulfato". Revista Forestal del Perú. Vol. 9, No. 2, Lima. 59-67 p.
5. ----- "Estudio de Posibilidades Industriales de Maderas Nacionales para Fabricación de Pulpa para Papel". UNA-MIC. La Molina, Lima, 1978. 223p.
6. "Notas del curso de Fabricación de Pulpa". Dpto. Industrias Forestales, UNA. Lima, 1980. s/p.
7. -----"Pulpa Química al Sulfato de 95 Maderas Latifoliadas Peruanas". Informe de Año Sabático. Dpto. Industrias Forestales, UNA. Lima, 1982. 23 p. (trabajo inédito).
8. CALZADA, J. "Métodos Estadísticos para la Investigación". 3ra. Edición, Ed. Jurídica S.A. Lima, 1970. 644 P.
9. CASEY, J. "Pulp and Paper". Vol. 1: Chemistry and Chemical Technology. 3ra. Edición, Interscience Publishers Inc. New York, 1980. 817 p.
10. COSTA COLL, T. "Manual del Fabricante de Papel". 3ra. Edición, Ed. Bosch. Barcelona, 1962. 709 p.
11. C ROXTON, F. y OTROS. "Estadística General Aplicada". 6ta. Edición, F. Cultura Económica. México, 1965. 710p.
12. EUR-CONTROL. "Freeness Handbook". Eur-Control Marketing S.A. Lausanne, 1981. 25 p.
13. ----- "Stock Preparation Refining Handbook". Eur-Control Marketing S.A. Lausanne, 1981. 41 p.
14. GRANT, J. "Manual sobre la Fabricación de Pulpa y Papel". Ed. Continental. México, 1966. 678 p.
15. HUATUCO, W. "Blanqueo CEH, CEHP, CECHP de Pulpa Química al sulfato de Huamansamana (Jacaranda copaia)". Tesis Ing. Forestal. UNA La Molina. Lima, 1981. 80 p.

16. LAO, R. 1969. "Catálogo Preliminar de las Especies Forestales del Perú". Revista Forestal del Perú. Vol, 3, No. 2. Lima. 3-61 p.
17. LIBBY, E. "Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel". Tomo 1: Pulpa. Ed. Continental S.A. México, 1976. 534p.
18. ----- "Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel". Tomo 11: Pulpa Ed. Continental S.A. México, 1977. 514 p.
19. MACBRIDE, J. "Flora of Perú". Vol XIII, Parte VC, No. 1. Field Museum of Natural History. Chicago, 1961. 105p.
20. MAC DONALD, R. "Pulp and Paper Manufacture". Vol. 1: Pulping of Wood. 2da. Edición. TAPPI-Mc Graw Hill Company. USA, 1969. 769 p.
21. ----- "Pulp and Paper Manufacture". Vol. 3: Papermaking and Paperboard making. 2da. Edición. TAPPI-Mc Graw Hill Company. USA, 1970. 655 p.
22. NAVARRO, J. "Evaluation of Mixed Tropical Hardwoods for Pulp and Paper Manufacture". FAO. Roma, 1976. 160p.
23. NAVARRO SAGRISTA, J. "Temas de Fabricación del Papel". Ed. Marfil. Valencia, 1970. 431 p.
24. PANSE, V. y SUKHATME, P. "Métodos Estadísticos para Investigadores Agrícolas". Fondo Cultura Económica. México, 1963. 349 p.
25. PILLING, G. 1977. "Refining in Stock Preparation". Paper, Vol. 188, No. 6. USA. 300-306 p.
26. QUINDE, A. "Fundamentos de Química de la Madera". Dpto. Química - UNA. Lima, 1984. 165 p.
27. RODRIGUEZ J., J. "Los controles en la Fabricación de Papel". Ed. Blume, Madrid, 1970. 359 p.
28. RYDHOLM, S. "Pulping Processes". Interscience Publishers. New York, 1967. 1269 p.
29. SOUSA R., J. "Caracterización Dendrológica de 22 especies Forestales de la Estación Experimental A. von Humboldt". Tesis Ing. Forestal. UNA La Molina. Lima, 1983. 197 P.
30. STRADAL, M. y OTROS. 1983. 70 o/o Yield Alkaline Sulphite Anthraquinone Pulp for Linerboard". TAPPI Journal. Vol. 66, No. 10. Atlanta, USA. 75-79 p.
31. UNIVERSIDAD DE QUEBEC. "Pate de Bois". Copias del curso de Pulpa de Madera. U. de Quebec. 1982. s/p.
32. WOLFE, J. 1983. "Wood Chemistry, Sulphite gatherings give new in sights". Pulp and Paper-Canada. Vol. 84, No. Montreal. 15-17 p.