



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRIA EN CIENCIAS Y TECNOLOGIA DE LA MADERA

TESIS

**“OBTENCIÓN DE PULPA POR LOS PROCESOS KRAFT Y A LA SOSA
Y SU BLANQUEO, A PARTIR DE MADERA DE
Eucalyptus citriodora Hook”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

PRESENTA

Ing. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde

Director:

Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones

Asesores:

Dr. Rubén Sanjuán Dueñas

Dr. Juan Ramos Quirarte

Morelia, Michoacán, Mayo 2006

El presente trabajo de investigación (“Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo a partir de madera de *Eucalyptus citriodora* Hook”), se desarrolló en la empresa Crisoba industrial S.A. de C.V., Planta Morelia, en los Laboratorios del Departamento de Madera, Celulosa y Papel “Ing. Kart Agustín Grellman” de la Universidad de Guadalajara y en los Laboratorios de investigación de la División de Estudios del Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Dicho trabajo se desarrolló dentro del proyecto con clave 12450 (2004-2006) aprobado por los Fondos Mixtos CONACYT - Gobierno del Estado de Michoacán al Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones, donde el Dr. Rubén Sanjuán Dueñas y el Dr. Juan Ramos Quitarte (DMCYP - U de G) fungen como colaboradores.

RESUMEN

“OBTENCIÓN DE PULPA POR LOS PROCESOS KRAFT Y A LA SOSA Y SU BLANQUEO, A PARTIR DE MADERA DE *Eucalyptus citriodora* Hook”

La presente investigación estudió la madera del *Eucalyptus citriodora* Hook, evaluando su desempeño en los procesos de pulpeo kraft y a la sosa así como su blanqueo, ya que esta especie es de rápido crecimiento y pudiera ser una opción para el abastecimiento de materia prima en la industria de celulosa y papel. El material para investigación fue proporcionado por CRISOBA Industrial S.A. de C.V. Planta Morelia de la plantación experimental, se obtuvieron trozas de 1.2 m de longitud y se tomó la más cercana al tocón (abajo) y la última antes de que se bifurcara el árbol en sus ramas (arriba).

La cocción se divide en dos etapas, en la primera se obtuvo pulpa kraft mediante un diseño factorial 2X2X2. Los factores considerados fueron: zona, tiempo de cocción y carga de reactivos. En la segunda etapa se obtuvo pulpa kraft y a la sosa, el diseño experimental es 2^k, considerando como factores tiempo de cocción y carga de reactivos. Las variables de respuesta en ambas etapas fueron: rendimiento, Rechazos y No de kappa. Se mantuvieron constantes: relación de baño, sulfidez, álcali activo y temperatura.

En el blanqueo se utilizaron las secuencias CDEpPeD y OAZEopP₁P₂, ambas se aplicaron a la pulpa obtenida por el proceso kraft y a la sosa.

De acuerdo con las normas TAPPI 2000, se determinaron las propiedades físico-mecánicas y ópticas de la pulpa café y blanca, evaluando: gramaje, largo de ruptura, índice de rasgado, porosidad, opacidad, blancura y calibre.

La cocción kraft en la primera etapa obtuvo un rendimiento máximo de 49.2%, en la segunda etapa fue de 47.9% para el proceso kraft y 50.3% en el proceso a la sosa. Las blancuras fueron de 87.2% y 71.3% en la pulpa kraft, incluyendo cloro y sin cloro respectivamente, para la pulpa sosa, 85.09% y 78.4% con y sin cloro.

ÍNDICE

“OBTENCIÓN DE PULPA POR LOS PROCESOS KRAFT Y A LA SOSA Y SU BALANQUEO, A PARTIR DE MADERA DE *Eucalyptus citriodora* Hook”

1	INTRODUCCIÓN	1
2	GENERALIDADES DE LA ESPECIE	3
3	GENERALIDADES DEL PROCESO DE PULPEO	6
4	ANTECEDENTES	16
5	OBJETIVOS	19
6	HIPÓTESIS	20
7	JUSTIFICACIÓN	21
8	METODOLOGÍA	23
8.1	Área de colecta y material de estudio	24
8.2	Pulpeo Kraft y a la sosa	26
8.3	Evaluación físico-mecánica de la pulpa Kraft y a la sosa	33
8.4	Blanqueo de la pulpa Kraft y a la sosa	35
8.5	Evaluación físico-mecánica de las pulpas blanqueadas	42
8.6	Análisis de los licores residuales Kraft y a la sosa	43
9	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
9.1	Pulpeo Kraft y a la sosa	44
9.2	Evaluación físico-mecánica de la pulpa Kraft y a la sosa	73
9.3	Blanqueo de la pulpa Kraft y a la sosa	82
9.4	Evaluación físico-mecánica de las pulpas blanqueadas	85
9.5	Análisis de los licores residuales Kraft y a la sosa	96
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
11	BIBLIOGRAFÍA	103

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Desarrollos en materia de pulpa y papel	7
2.	Expansión del uso de la imprenta en América	10
3.	Concentrado de cocción y blanqueo en estudios previos de Eucalipto	16
4.	Clasificación de astilla	26
5.	Variables en los procesos de cocción	27
6.	Definición de corridas para el diseño factorial 2X2X2 kraft	30
7.	Definición de corridas para el diseño 2 ^k segunda etapa de cocción kraft	31
8.	Definición de corridas cocción a la sosa diseño 3X2	32
9.	Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro primera etapa	35
10.	Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro segunda etapa	36
11.	Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro tercer etapa	36
12.	Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro cuarta etapa	37
13.	Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro primera etapa	37
14.	Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro segunda etapa	37
15.	Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro tercer etapa	38
16.	Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro cuarta etapa	38
17.	Blanqueo pulpa kraft libre de cloro primera etapa	39
18.	Blanqueo pulpa kraft libre de cloro segunda etapa	39
19.	Blanqueo pulpa kraft libre de cloro tercer etapa	39
20.	Blanqueo pulpa kraft libre de cloro cuarta etapa	39
21.	Blanqueo pulpa kraft libre de cloro quinta etapa	40
22.	Blanqueo pulpa kraft libre de cloro sexta etapa	40
23.	Blanqueo pulpa sosa libre de cloro primera etapa	40
24.	Blanqueo pulpa sosa libre de cloro segunda etapa	40
25.	Blanqueo pulpa sosa libre de cloro tercer etapa	41
26.	Blanqueo pulpa sosa libre de cloro cuarta etapa	41
27.	Blanqueo pulpa sosa libre de cloro quinta etapa	41
28.	Blanqueo pulpa sosa libre de cloro sexta etapa	41
29.	ANOVA para el rendimiento de la pulpa kraft	44
30.	Prueba de rangos múltiples para rendimiento de la pulpa kraft por tiempo	45
31.	Rangos múltiples rendimiento por carga pulpa kraft	46
32.	Prueba de rangos rendimiento por zona pulpa kraft	47
33.	ANOVA para los rechazos de pulpa kraft	48
34.	Prueba de rangos múltiples para los rechazos por tiempo pulpa kraft	49
35.	Prueba de rangos múltiples de rechazos por carga pulpa kraft	49
36.	Prueba de rangos múltiples para los rechazos por zona pulpa kraft	50
37.	ANOVA para kappa pulpa kraft	51
38.	Prueba de rangos múltiples para kappa por tiempo pulpa kraft	52
39.	Prueba de rangos múltiples para kappa por carga pulpa kraft	53
40.	Prueba de rangos múltiples para kappa por zona pulpa kraft	53
41.	ANOVA para rendimiento segunda etapa de cocción kraft	55
42.	Análisis de regresión para rendimiento segunda etapa de cocción kraft	56

43.	Optimización de variable de respuesta rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción	57
44.	ANOVA para rechazos segunda etapa de cocción kraft	58
45.	Análisis de regresión para rechazos segunda etapa de cocción kraft	59
46.	Optimización de la variable rechazos segunda etapa de cocción kraft	60
47.	ANOVA para número de kappa segunda etapa de cocción kraft	61
48.	Análisis de regresión para número de kappa segunda etapa de cocción kraft	62
49.	Optimización de la variable número de kappa en la segunda etapa de cocción kraft	63
50.	ANOVA para rendimiento proceso de cocción a la sosa	64
51.	Prueba de rangos múltiples para rendimiento por carga pulpa sosa	65
52.	Prueba de rangos múltiples para rendimiento por tiempo pulpa sosa	66
53.	ANOVA para el número de kappa cocción a la sosa	67
54.	Prueba de rangos múltiples para número de kappa por carga pulpa sosa	68
55.	Prueba de rangos múltiples para número de kappa por tiempo cocción a la sosa	69
56.	ANOVA para rechazos cocción a la sosa	70
57.	Prueba de rangos múltiples para rechazos por carga cocción a la sosa	71
58.	Prueba de rangos múltiples para rechazos por tiempo cocción a la sosa	71
59.	Resultados curva de batido pulpa café kraft	73
60.	Resultados curva de batido pulpa café a la sosa	77
61.	Condiciones finales blanqueo de pulpa kraft incluyendo cloro	82
62.	Condiciones finales blanqueo de pulpa kraft libre de cloro	82
63.	Condiciones finales blanqueo de pulpa sosa con secuencia incluyendo cloro	83
64.	Condiciones finales en el blanqueo de pulpa sosa con secuencia libre de cloro	84
65.	Resultados curva de batido pulpa kraft blanqueada secuencia con cloro	85
66.	Resultados de la curva de batido en pulpa kraft blanqueada libre de cloro	90
67.	Resultados de la curva de batido en pulpa a la sosa blanqueada con cloro	90
68.	Resultados curva de batido pulpa sosa blanqueada libre de cloro	95
69.	Viscosidades diferentes pulpas	95
70.	Análisis licor residual kraft	96
71.	Análisis licor residual sosa	96

INDICE DE FIGURAS

1.	<i>Eucalyptus citriodora</i>	3
2.	Regiones nativas de eucalipto en Australia	4
3.	Árbol de <i>E. citriodora</i> maduro	4
4.	Árbol de <i>E. citriodora</i> joven	4
5.	Flor, fruto verde y maduro <i>Eucalyptus citriodora</i>	5
6.	Detalle de corteza en el árbol	5
7.	Árboles de invernadero y plantación	5
8.	Ruta del conocimiento de fabricación del papel	7
9.	Juan Pablo mostrando al Virrey de Mendoza el primer libro	9
10.	Componentes de la madera	10
11.	Estado de una fibra obtenida mediante diferentes procesos	11
12.	Factor H	14
13.	Ubicación de las zonas de estudio en el árbol	25
14.	Secuencia para el proceso de cocción	28
15.	Interacción tiempo-carga sobre rendimiento pulpa kraft	44
16.	Interacción zona-carga vs rendimiento pulpa kraft	44
17.	Interacción tiempo-zona vs rendimiento pulpa kraft	44
18.	Gráfica de medias para tiempo-rendimiento pulpa kraft	45
19.	Gráfica de medias para carga-rendimiento pulpa kraft	46
20.	Gráfica de medias zona-rendimiento pulpa kraft	47
21.	Interacción tiempo-carga vs rechazos pulpa kraft	48
22.	Interacción zona-carga vs rechazos pulpa kraft	48
23.	Interacción tiempo-zona vs rechazos pulpa kraft	48
24.	Gráfica de medias para el tiempo sobre rechazos pulpa kraft	49
25.	Gráfica de medias para los rechazos por carga pulpa kraft	50
26.	Gráfica de medias para rechazos por zona pulpa kraft	50
27.	Interacción tiempo-carga vs kappa pulpa kraft	51
28.	Interacción zona-carga vs kappa pulpa kraft	51
29.	Interacción tiempo-zona vs kappa pulpa kraft	51
30.	Gráfica de medias para el número de kappa por tiempo pulpa kraft	52
31.	Gráfica de medias para el número de kappa por carga pulpa kraft	53
32.	Gráfica de medias para el número de kappa por zona pulpa kraft	54
33.	Interacción tiempo-carga sobre rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción	55
34.	Principales efectos del tiempo-carga sobre rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción	56
35.	Gráfica de superficie de respuesta del modelo para rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción	57
36.	Gráfica de interacción tiempo-carga vs rechazos segunda etapa de cocción pulpa kraft	58
37.	Efecto de tiempo y carga sobre rechazos segunda etapa de cocción kraft	59
38.	Gráfica de superficie de respuesta de la variable rechazos segunda etapa de cocción kraft	60
39.	Interacción tiempo-carga vs número de kappa segunda etapa de cocción kraft	61
40.	Efecto de tiempo y carga sobre número de kappa	62

41.	Gráfica de superficie de respuesta tiempo-carga vs número de kappa segunda etapa de cocción kraft	63
42.	Interacción carga-tiempo vs rendimiento cocción sosa	64
43.	Gráfica de medias para el rendimiento a diferentes valores de carga cocción a la sosa.	65
44.	Gráfica de medias para el rendimiento vs tiempo cocción a la sosa	66
45.	Gráfica de interacción carga-tiempo vs número de kappa cocción a la sosa	67
46.	Gráfica de medias para el número de kappa vs carga cocción a la sosa	68
47.	Gráfica de medias para número de kappa vs tiempo cocción a la sosa	69
48.	Gráfica de interacción carga-tiempo vs rechazos cocción a la sosa	70
49.	Gráfica de medias para rechazos vs carga cocción a la sosa	71
50.	Gráfica de medias para tiempo vs rechazos cocción a la sosa	72
51.	Comportamiento del drenado pulpa café proceso kraft	73
52.	Comportamiento de largo de ruptura pulpa café proceso kraft	74
53.	Comportamiento de índice de rasgado pulpa café proceso kraft	75
54.	Comportamiento de porosidad pulpa café proceso kraft	75
55.	Comportamiento volumen pulpa café proceso kraft	76
56.	Comportamiento opacidad pulpa café proceso kraft	76
57.	Comportamiento blancura pulpa café proceso kraft	77
58.	Comportamiento del drenado pulpa café a la sosa	78
59.	Comportamiento del largo de ruptura pulpa café a la sosa	78
60.	Comportamiento del índice de rasgado pulpa café a la sosa	79
61.	Comportamiento de porosidad pulpa café a la sosa	79
62.	Comportamiento de volumen pulpa café a la sosa	80
63.	Comportamiento de opacidad pulpa café a la sosa	80
64.	Comportamiento de blancura pulpa café a la sosa	81
65.	Comportamiento de la drenabilidad en pulpa kraft blanqueada con cloro	86
66.	Comportamiento de largo de ruptura en pulpa kraft blanqueada con cloro	86
67.	Comportamiento del índice de rasgado pulpa kraft blanqueada con cloro	87
68.	Comportamiento de porosidad pulpa kraft blanqueada con cloro	87
69.	Comportamiento del volumen en pulpa kraft blanqueada con cloro	88
70.	Comportamiento de la opacidad en pulpa kraft blanqueada con cloro	88
71.	Comportamiento de blancura pulpa kraft blanqueada con cloro	89
72.	Comportamiento de la drenabilidad en pulpa a la sosa blanqueada con cloro	91
73.	Comportamiento largo de ruptura en pulpa a la sosa blanqueada con cloro	91
74.	Comportamiento del índice de rasgado en pulpa a la sosa blanqueada con cloro	92
75.	Comportamiento de la porosidad en pulpa a la sosa blanqueada con cloro	93
76.	Comportamiento de volumen en la pulpa a la sosa blanqueada con cloro	93
77.	Comportamiento de la opacidad en pulpa a la sosa blanqueada con cloro	94
78.	Comportamiento de blancura en pulpa a la sosa blanqueada con cloro	94

INDICE DE DIAGRAMAS

1.	Etapas en un proceso de cocción de madera	12
2.	Diagrama de flujo general de la investigación	23
3.	Preparación de material de estudio	24
4.	Proceso de cocción	26
5.	Evaluación de pruebas físico-mecánicas pulpa café	33
6.	Blanqueo de pulpa	35
7.	Evaluación de pruebas físico-mecánicas para las pulpas blanqueadas	42
8.	Análisis de licores de cocción	43

1 INTRODUCCIÓN

Papel higiénico, cartón, faciales, servilletas, para impresión y escritura, fotocopiado, servitoallas, cartulina, lustre, albanene, celofán, arroz, de china, crepe, encerado, etc., los podemos relacionar con limpieza, almacenaje, regalos, adornos, costumbres, educación, historia, alimentos. Bienestar, sería la palabra que produce el papel. Es un material de fácil adquisición, tanto por su costo, como por su acceso. Haciendo un listado básico de en que lugares de nuestro hogar utilizamos papel encontramos:

Cocina, baño, estudio, habitación, sus usos son variados desde limpieza hasta con carácter oficial.

Lo anterior es sólo un ejemplo de la importancia que tiene en nuestra cotidianidad, generalmente no se está conciente de que este material se encuentra en nuestro entorno y de la facilidad con la que lo utilizamos y lo desechamos. Imaginar nuestra vida sin papel resultaría prácticamente caótica, bastará con hacer un ejercicio mental en el que por un día no estemos en contacto con el papel.

Si analizamos la historia, veremos que en la antigüedad, todos los pueblos han inventado técnicas para que sus conocimientos permanezcan a través del tiempo, ya sea grabados sobre piedra, pintura sobre piedra, grabados sobre cuero, pintura sobre cuero, grabados sobre madera y que gracias a los materiales utilizados, a la fecha podemos aprender de ellos, pero lo poco práctico del material ya sea para el grabado mismo, la transportación o el almacenaje, limitó de alguna manera la abundancia de estas manifestaciones y es que debido a esto mismo el acceso para aprender a realizarlos era también limitado. No todos los miembros de la población sabían y podían elaborarlos, de manera que, la capacidad de perpetuar los conocimientos estaba en aquel entonces limitada por la autorización de un sector pequeño de las poblaciones y claro que en ese entonces como a la fecha, representaba el acceso al poder.

Dicho lo anterior se justifica el hecho de que se desarrollaron procesos que permitieran obtener papal en grandes cantidades y, la materia prima para fabricarlo.

Y es que, debido a los diferentes usos que se le da al papel, es necesario resaltar sus propiedades, las cuales en gran medida provienen de la pulpa y éstas a su vez son características de la especie de donde proviene, los procesos mediante los cuales se obtuvieron u obtenidas mediante la adición de agentes químicos. Los químicos dentro de la fabricación de papel son de gran ayuda pero no la solución completa, de hecho se prefiere en la medida de lo posible evitarlo y es que, mientras más aditivos tenga un proceso la estabilidad del mismo es más difícil de alcanzar, ahora bien, dentro a los tipos de pulpa, en forma general se puede clasificar a las pulpas como suaves y duras.

Las duras son las que se obtienen de especies latifolidas como el encino y eucalipto, estas fibras son de dimensiones cortas +/- 1.5 mm, razón por lo que también se les llama fibras cortas (Sanjuán 1997).

Las fibras que se obtienen de maderas suaves, conocidas también como fibras largas, provienen de especies coníferas como el pino, oyamel, su longitud de fibra es de 2.5 a 3.5 mm +/- (Sanjuán 1997).

De acuerdo con el panorama anterior, el presente trabajo abarca el estudio de la madera de *Eucalyptus citriodora* como materia prima para la obtención de pulpa celulósica por procesos químicos, al sulfato o Kraft y a la Sosa, así como el blanqueo de la misma con una secuencia que utiliza cloro y libre de cloro.

Los procesos de cocción utilizados en este trabajo son Kraft (sulfato) y a la sosa. El proceso a la sosa fue el primer proceso utilizado de manera formal a nivel industrial para obtener pulpa celulósica a partir de madera, este consiste en mezclar con la madera una solución de hidróxido de sodio (NaOH) de concentración conocida y someter a temperaturas superiores a los 165 °C para que pueda surtir efecto y separe la pulpa celulósica de los demás componentes de la madera. En el proceso kraft la sustancia reactiva es el sulfuro de sodio (Na₂S) el cual es mezclado con la madera y en este caso la temperatura de cocción deberá estar en los rangos de 155 - 170 °C (Casey 1990).

2 GENERALIDADES DE LA ESPECIE

Eucalyptus citriodora



Figura 1.- *Eucalyptus citriodora*(36).

En la figura 1 se muestran las hojas de este árbol.

Nombre vulgar en Australia(35): “Lemon scented gum“

Regiones nativas(35): regiones centrales y septentrionales del este de Queensland (figura 2), la especie se presenta sobre terrenos ondulados, incluyendo mesetas y escarpas áridas. Se halla comúnmente sobre suelos pedregosos bastante pobres, podzoles y podzoles residuales de origen laterítico. Prefiere suelos bien drenados y pedregosos, donde por lo general, crece con otros eucaliptos.



Figura 2.- Regiones nativas de eucalipto en Australia (35).

Características(35): altura del árbol en Australia 30 – 40 m. Árbol de forma excelente, con una copa bien formada, pero con follaje disperso, su corteza es lisa, blanca o vagamente azulada, sus hojas juveniles son opuestas y luego alternas, estrechas a lanceoladas anchas con márgenes ondulados, vellosas, peltadas, las hojas adultas son alternas, lanceoladas estrechas, ambas hojas las juveniles y adultas tienen un fuerte perfume a citronela al desmenuzarse, la madera es fuerte y dura (figura 3 a 7).



Figura 3.- Árbol de *E. citriodora* maduro(39).



Figura 4.- Árbol de *E. citriodora* joven(39).



Figura 5.- Flor, fruto verde y maduro de *E. citriodora*(38).



Figura 6.- Detalle de corteza en el árbol(38).



Figura 7.- Árboles en invernadero y plantación(38).

Usos(35): madera aserrada, postes largos y mangos para herramientas. Puede ser torneada fácilmente.

3 GENERALIDADES DEL PROCESO DE PULPEO

La forma en que evolucionó la idea de desarrollar un material, en el cual se pudieran perpetuar toda la sabiduría para transmitirla de generación en generación de la manera más fiel, se puede encontrar expresada de forma general en los siguientes párrafos (Sanjuán 1997):

A los egipcios se les atribuye la fabricación de un satisfactor que precedió al papel como lo conocemos actualmente, en los años 3000 a.c., ellos fabricaban el papiro (*Cyperus papyrus*) y es que a las orillas del Río Nilo, se encontraba en abundancia. Su método era a grandes rasgos, cortar en tiras delgadas el papiro, humedecerlos en un tipo de almidón, después las colocaban unas sobre otras en forma de cruz y se compactaban con una prensa, las secaban al sol y de esta manera se formaban las piezas que llegaban a medir hasta 10 metros. La forma de utilizarlos era enrollando este material en dos bases de manera que cuando se querían utilizar se tenía que sostener con la mano derecha y se iba desenrollando con la mano izquierda, un inconveniente mayor que la practicidad para su uso era la permanencia del mismo, pero claro esta que el mérito es enorme.

Los griegos contribuyen a la aparición del pergamino en el siglo III a.c., consistía en preparar las pieles de los animales como: terneras, ovejas, cabras, etc., quitándoles la piel y estirando de manera que se cuidaba no tener dobleces, se secaban y estaban listos para ser utilizados, en algún momento se unieron los pergaminos de un extremo de manera que se podían manipular sin tener que “ hojear “ y perderse, esto resultó más práctico que la forma de manipular los papiros, este material debido a su naturaleza resulto ser más duradero pero el abastecimiento era laborioso y limitado.

La complicidad para tener un papiro o un pergamino era mucha, razón por la cual se reutilizaban, eliminando la escritura anterior para plasmar la nueva y así hasta que el material lo permitía.

En China, se utilizaba la seda para escribir, era muy costoso y laborioso utilizar ese material y en el año 105 d.c. se le atribuye a Ts'ai Lun proponerle al emperador de entonces, un método mediante el cual podía obtener un material que sustituyera la seda, dicho método implicaba la molienda y mezcla de bambú, trapos viejos y corteza de morera, ya no era utilizar el material casi tal cual se obtenía de la naturaleza si no, provocar la separación de fibras que era la base para el papel. El desarrollo de los usos fue tal, que para el año 875 esta nación utilizó papel higiénico.

Este adelanto tecnológico permaneció en secreto, aun así, en el año 610 se introduce a Japón, de manera que 160 años después los japoneses ya hacían impresiones.

En la figura 8, se muestra la ruta que siguió el conocimiento de la fabricación de papel, los desarrollos impulsados por la existencia del papel son determinantes para el desarrollo de la humanidad, la imprenta, es uno de ellos. El hecho de contar con una máquina de relativa fácil operación y que permitía la reproducción continua de los

textos representó un poder enorme, los textos religiosos fueron los primeros en difundirse, claro está que de manera drástica el costo de los libros disminuyó. Una buena razón para difundir información y aprender a entenderla, es decir, leer, lo cual ayudó a la alfabetización de los pueblos que, a su vez, estaba conectada con la capacidad de analizar y emitir ideas nuevas que en ocasiones no estaban en comunión con las ideas del sector que tenía al poder; en este punto es donde cobra una importancia estratégica el papel, no existía otra forma más rápida y eficaz de transmitir ideas, se convirtió en un instrumento de poder sumamente codiciado. En ese momento histórico, la demanda de papel empezaba a rebasar por mucho la capacidad de fabricarlo, tanto por las materias primas que se utilizaban en ese entonces, como por el proceso para fabricarlo, el cual era artesanal en su totalidad, nuevamente este punto álgido sirvió para desarrollar nuevos conocimientos en torno a la fabricación del papel.

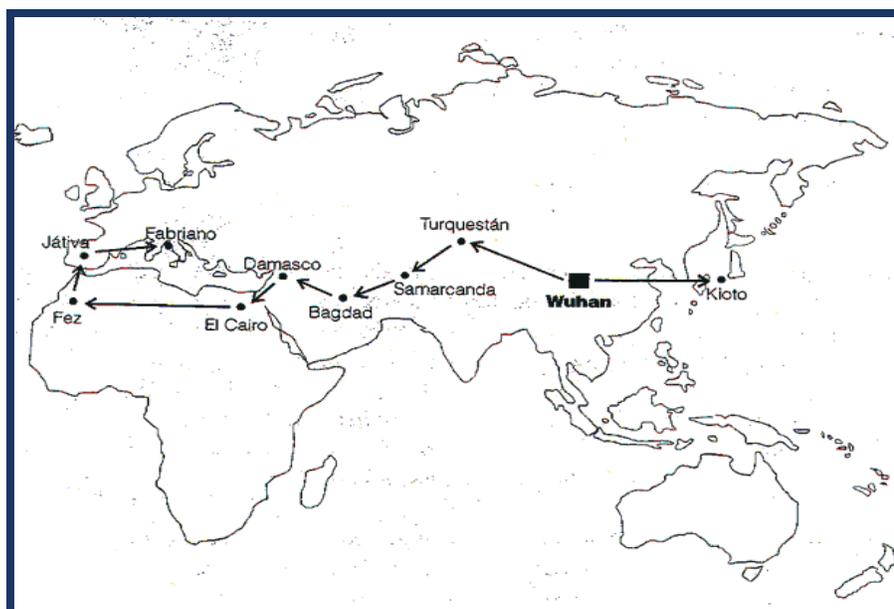


FIGURA 8.- Ruta del conocimiento de fabricación del papel (Sanjuán 1997).

Nuevamente se evidencia la necesidad de producir papel en escalas mayores, involucrando materia prima y proceso, los avances fueron demasiados en poco tiempo, como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1.- Desarrollos en materia de pulpa y papel (Sanjuán 1997).

1750	Invencción del molino Holandés, en el mismo país, equipo que se utilizó para obtener fibra.
1756	Se propone utilizar madera para obtener pulpa.
1774	Utilizan el cloro junto con la cal para blanquear.
1790	Por accidente se adiciona añil a la pulpa lo cual provoca una aparente blancura.
1799	Nicolás Luís Robert inventa una máquina para hacer papel.
1800	Se registra por parte de Mathias Koops la patente para obtener pulpa partir de paja y papel de desperdicio.

1803	Los hermanos Fourdrinier, adquieren la patente de Nicolas Luis Robert y perfeccionan la máquina.
1817	Se instala la primera máquina de cilindro en América.
1824	Se instala la primera fábrica de papel en México en San Sebastián Chimalistac.
1826	Se utilizan los cilindros de vapor para secar el papel en máquina.
1827	Se instala la primera máquina Fourdrinier en América.
1838	Aparece el primer proceso para fabricar papel a partir de bagazo de caña de azúcar.
1839	Anselmo Payen, químico francés logra aislar la celulosa tratando la madera con ácido nítrico concentrado.
1840	Debido a la investigación tendiente a encontrar una materia prima idónea para el papel se encuentra que la madera es el material que cubre estos requisitos.
1847	Friederich Keller en Alemania y Charles Fenerty en Nueva Escocia desarrollan formas de procesar pulpa por molienda.
1852	Se patenta por parte de Charles Watt y Hugo Burgués en Inglaterra el primer proceso de obtención de pulpa que fue a la Sosa.
1867	Benjamín C. Tlighman patenta el proceso para cocer sustancias vegetales con ácido sulfuroso al Sulfito.
1870	Se utiliza por primera vez la pulpa mecánica.
1874	Se utiliza por primera de forma comercial el proceso al sulfito a cargo de Karl Ekman en Suecia y Alexander Mitscherlinch en Alemania.
1883	El químico alemán Kart Dahl inventa el proceso de obtención de pulpa al Sulfato o Kraft.
1909	Se instala la primera fábrica con proceso Kraft en América.
1925	Se desarrolla un proceso semiquímico para obtener pulpa.
1930	Se emplea a nivel industrial al cloro para blanqueo.
1935	Se perfecciona el sistema de recuperación de reactivos del proceso kraft .
1940	El peróxido de hidrógeno es utilizado como agente de blanqueo.
1946	Primera aplicación industrial del dióxido de cloro para blanquear.
1970	Inicia a operar la primera empresa con el primer proceso de blanqueo con oxígeno.
1984	Inicia las investigaciones del proceso al sulfito alcalino con antraquinona y metanol.
1991	Es utilizado el ozono para blanquear a nivel industrial.

En nuestro país también existió una línea de desarrollo del papel, los Mayas hacía el año 600 con la corteza del huun, higuera, henequén, desarrollaron un material similar, también se permitieron utilizar materias primas como el algodón, maguey, palma. De esta manera el papel representó una gran importancia en nuestro país, ya que se utilizaba para elaborar vestimentas, ofrendas y claro esta para perpetuar mediante escritura el conocimiento de nuestras culturas.

En la época de la conquista se planteó la necesidad de establecer un molino para fabricación de papel y una imprenta en la Nueva España, la imprenta se autorizó, pero el molino no, y es que de esta manera se tenía controlado el abastecimiento de la materia prima para las impresiones y, a su vez, control sobre lo que se quería se difundiera. En este punto la religión estuvo presente ya que el primer libro impreso en México fue la Compendiosa Doctrina Cristiana en lengua mexicana y castellana, México fue el primer país en el que se estableció la imprenta seguido de Perú y otros más como se muestra en la figura 9, esta, fue también la ruta en la que fue más evidente la necesidad del papel en cantidades mayores.



Figura 9.- Juan Pablo mostrando al Virrey de Mendoza el primer libro; detrás de éste Fray Juan de Zumárraga, Gerónima Gutiérrez, esposa de Pablo, de pie a la extrema izquierda; el prensista Gil Barbero sentado en el cuarto al fondo; el esclavo Pedro con un martillo en la mano, aplanando la huella que dejaban los tipos de la imprenta (Lenz 1990).

En la tabla 2, se muestran los países a los cuáles se expandió el uso de la imprenta en América.

Tabla 2.- Expansión del uso de la imprenta en América (Sanjuán 1997).

Ciudad	País	Año
México	México	1538
Lima	Perú	1584
La Habana	Cuba	1607
Santo Domingo	República Dominicana	1607
Cambridge	Estados Unidos	1639
Guatemala	Guatemala	1660
Doctrinas	Paraguay	1700
Santa Fe	Colombia	1738
Rio de Janeiro	Brasil	1747
Halifax	Canadá	1752
Ambato	Ecuador	1754

La madera es la materia prima principal para obtener pulpa celulósica y posteriormente, fabricar papel. Cada especie de madera tendrá características propias. De manera general independientemente de la especie todas las maderas tienen como componentes (figura 10): la corteza, lignina, extraíbles, cenizas y carbohidratos, estos últimos se dividen en hemicelulosas y celulosa. Entonces para poder utilizar la celulosa será necesario eliminar los componentes que no son deseables en la medida de lo posible, debido a lo anterior, ya que se tiene la especie de madera de la cual se obtendrá la pulpa celulósica es necesario especificar cual será el proceso mediante el cual será extraída.

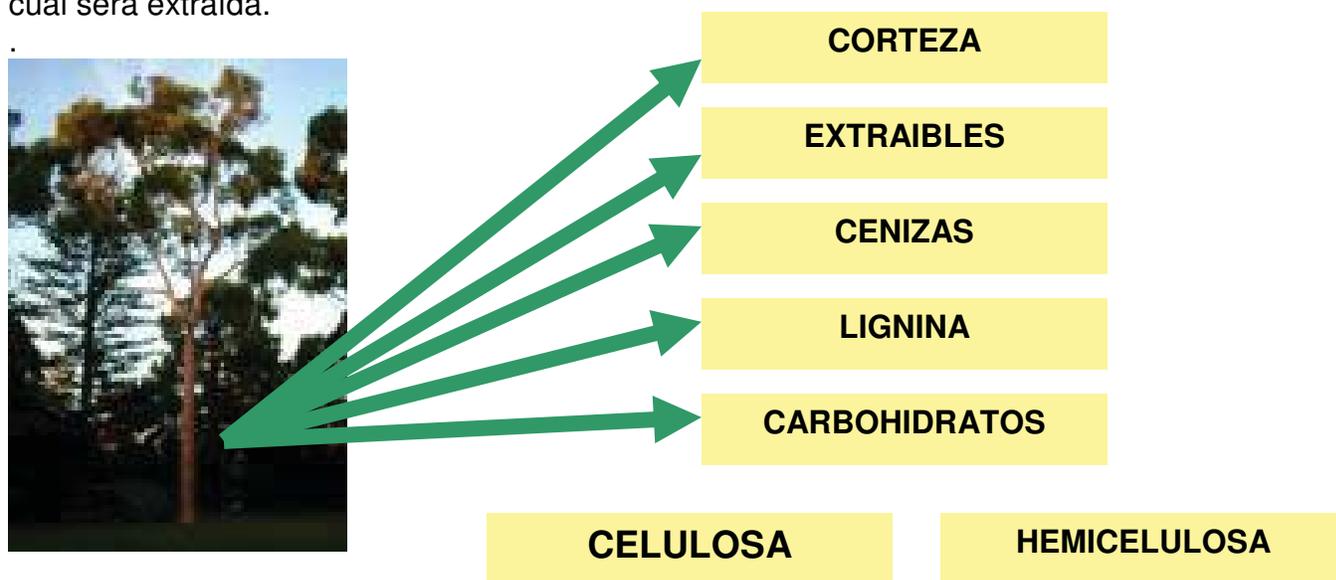


Figura 10.- Componentes de la madera(39).

Dentro de los procesos para obtener pulpa existen:

PROCESOS MECÁNICOS.- Utilizan únicamente la energía mecánica para separar el material celulósico, cabe mencionar que debido a la naturaleza del mismo, la pureza de la celulosa obtenida es baja, ya que de manera burda se obtiene la madera desintegrada de bloque a heces fibrosos, pero, con todos sus componentes, eliminando únicamente de manera total la corteza, razón por la cual su eficiencia expresada en toneladas de fibra por tonelada de madera es muy alta, pero la calidad de fibra no es buena, pese a esto es una fibra que se utiliza para conferir propiedades como absorbencia y volumen al papel (Casey 1990).

SEMIMECÁNICO O SEMIQUÍMICO.- Éste tiene la particularidad de que utiliza la energía química para ablandar la madera seguida en un proceso mecánico de manera que la separación del material se realiza de una manera menos accidentada, puede ser que la utilización del químico sea en mayor grado y la energía mecánica sea aplicada en un refinador, en este caso se clasifica como semiquímico, en otros casos la energía química es poca y la mecánica es aplicada en un molino recibiendo este proceso el nombre de semimecánico, en ambos casos la pureza del producto es mayor que la del obtenida mediante un proceso mecánico, pero el rendimiento es menor (Casey 1990).

QUÍMICOS.- Son muy selectivos y como su nombre lo indican utilizan energía química para lograr la separación de la lignina, la eficiencia de estos tipos de procesos expresada en toneladas de pulpa por tonelada de madera son inferiores a las de los otros dos tipos de procesos mencionados, casi la mitad respecto al mecánico, pero con estos se obtiene una calidad de pulpa superior, debido a la selectividad que tienen es posible clasificar a las fibras en cortas o largas dependiendo de la especie, los procesos mecánicos y semimecánicos o semiquímicos obtienen fibras que por su longitud puede clasificarse como corta únicamente (Casey 1990).

En la figura 11, se muestra el estado de una fibra obtenida mediante los diferentes procesos explicados anteriormente (Sanjuán 1997).

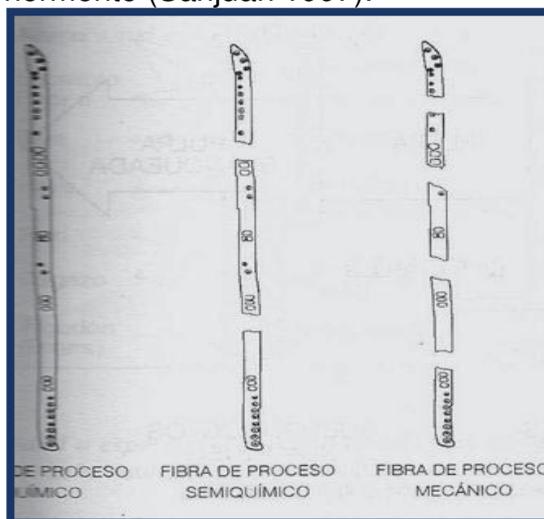


Figura 11. Estado de una fibra obtenida mediante diferentes procesos. (Sanjuán 1997).

BIODIGESTIÓN.- Están cobrando fuerza dentro de los procesos de obtención de pulpa

Ahora bien, sea cual sea el proceso mediante el cual se obtuvo la pulpa, si la utilización de ella lo amerita, será necesario blanquearla ya que de los procesos mencionados anteriormente se obtiene pulpa café. Entonces, en este rubro se tienen principalmente cinco reactivos utilizados para blanquear: Cloro, Bióxido de cloro, Peróxido de Hidrógeno, Oxígeno y Ozono. Dependiendo de la administración del proceso se selecciona la secuencia mediante la cual se quiere llegar a blanquear, el cloro es el mejor agente de blanqueo que actualmente existe, catalogado así por la efectividad, pero dadas sus implicaciones ambientales poco a poco, los procesos de blanqueo están migrando a prescindir de éste. Los otros agentes dependiendo de la sinergia que establezcan con la pulpa a blanquear son los resultados obtenidos. En la actualidad existe investigación que va encaminada a blanquear la pulpa con enzimas (Casey 1990).

Un proceso de cocción para obtener pulpa celulósica consiste en mezclar el licor de cocción con la madera y someterlos a temperaturas elevadas, debido a esto este proceso debe realizarse en reactores llamados para este proceso digestores, son recipientes a presión en los cuales suceden diferentes etapas (diagrama 1) (Casey 1990):

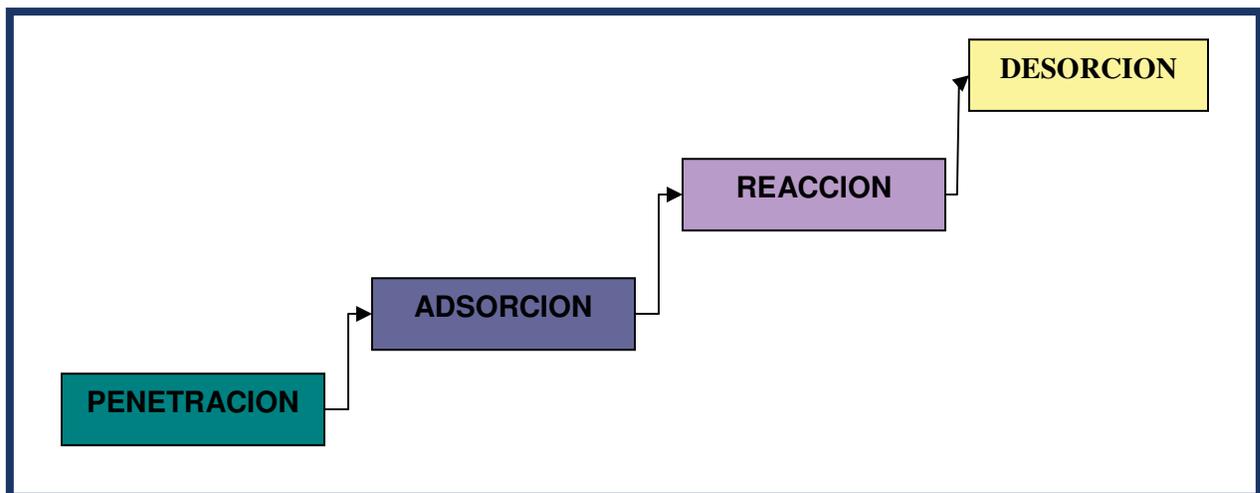


Diagrama 1.- Etapas en un proceso de cocción de madera.

PENETRACIÓN: se inicia cuando están en contacto los reactivos y la madera, en esta etapa existe la difusión del licor de cocción dentro de las astillas de madera que son porosas, deberá de tenerse una buena penetración de reactivos para que las etapas subsecuentes se presenten ya que de no existir no se tendrán reactivos en toda la astilla lo que se traducirá en rechazos (madera sin cocer) al final del proceso.

ADSORCIÓN: en esta etapa sucede la adsorción de los iones activos en la superficie de los compuestos químicos que componen la madera.

REACCIÓN: al terminar las etapas anteriores se presenta la reacción entre los compuestos químicos que forman la madera y los iones que forman los reactivos, esto promovido por la temperatura. En esta etapa se presenta la deslignificación esta es selectiva ya que cada proceso de cocción ha sido diseñado de manera que preferentemente se deje intacta la pulpa celulósica.

DESORCIÓN: se presenta ya que los reactivos se han agotado para dar paso al transporte de los compuestos resultantes y quizá licor de cocción sin reaccionar que deberá ser una cantidad muy pequeña, ya que la mayoría serán los componentes de la madera que han sido disueltos por el licor.

Ahora bien, las variables que determinan el desarrollo de un proceso de cocción son (Casey 1990):

ESPECIE Y CALIDAD DE MADERA.- es determinante para el resultado de la cocción, ya que dependiendo de la especie de madera así como su edad, dado lo anterior no se puede tratar de la misma forma maderas de diferentes especies e incluso misma especie pero diferente edad, cuando se realiza una cocción que no presente uniformidad en la materia prima será muy difícil obtener una calidad homogénea en el producto, aún y cuando exista un control estricto en el proceso.

CARGA DE REACTIVOS.- es medida como el porcentaje de reactivos referido a la madera seca que se someterá al proceso, mientras la carga de reactivos es mayor la deslignificación está asegurada lo contrario sucede cuando ésta disminuye.

HIDROMÓDULO.- es una variable a fijar, esta define la cantidad de líquido presente en la digestión en relación a la madera seca. Cuando es poco líquido en relación a la madera se tiene una dificultad en la penetración ya que no existe la cantidad suficiente para transportar los reactivos y que se lleve de manera satisfactoria la etapa de penetración, si el hidromódulo es alto existe una dilución y aunque el líquido penetre a la madera no llevará una concentración de reactivos suficiente para cuando se lleve a cabo la etapa de reacción.

TIEMPO DE REACCIÓN.- variable importante ya que pensar en tiempos cortos es esperar poca deslignificación lo contrario con tiempos grandes, aún que el tiempo por sí sólo no dice nada, es necesario enmarcarlo con las variables mencionadas anteriormente y con la temperatura, ya que la energía de activación necesaria para que la etapa de reacción se presente es proporcionada por la temperatura, entonces tiempo y temperatura se juntan y técnicamente forman el Factor H; mientras mayor sea la temperatura es mayor la energía de activación proporcionada al proceso y puede ser tal que no sólo suceda la reacción entre los componentes no celulósicos, sino que ataque también a la celulosa, en ese caso se llevaría a cabo una depolimerización, la longitud de la fibra se reducirá y antes de utilizarla ya se estará demeritando la calidad, entonces, lo que se hace es llegar a la temperatura idónea para cada proceso y alargar el tiempo a dicha temperatura de manera que se cumple con la cantidad necesaria de energía en el proceso.

El factor H (figura 12) esta relacionado con la velocidad de reacción, la siguiente gráfica muestra el manejo de la temperatura, el tiempo y como se presentan las diferentes etapas en la cocción.

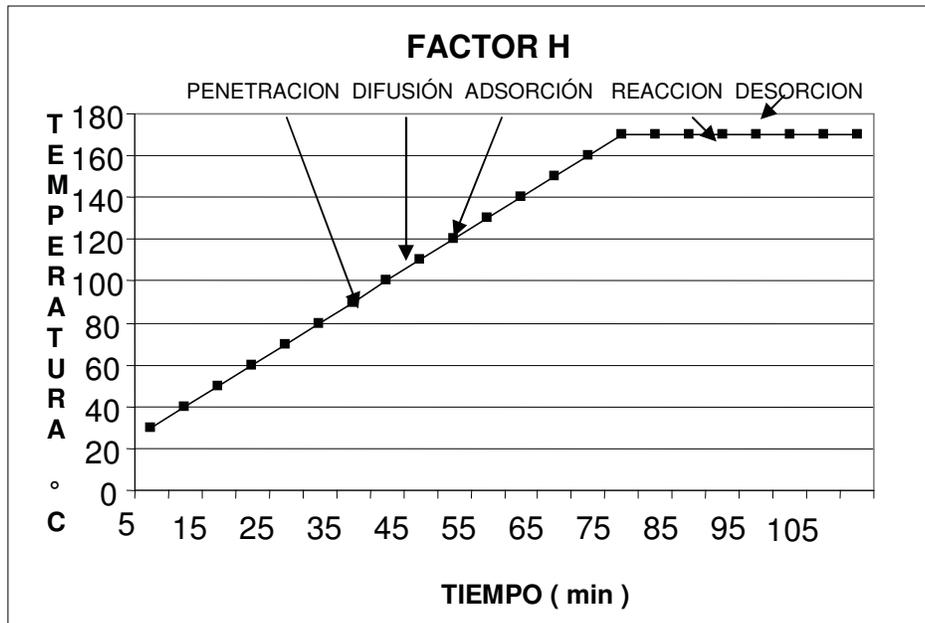


Figura 12.- Factor H(Sanjuán 1997).

La velocidad de deslignificación puede definirse matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$\frac{-dL}{dt} = kL \quad \text{ecuación 1}$$

L es el contenido de lignina en el tiempo t y k es la constante de velocidad, es una ecuación que describe la cinética de una reacción de primer orden respecto a los aglutinantes, la k toma diferentes valores dependiendo de la temperatura y la ecuación anterior puede traducirse como:

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{RT} \quad \text{ecuación 2}$$

Esta es la ecuación de Arrhenius y T es la temperatura en grados absolutos, R la constante de los gases expresada en energía/grado-mol (cal/°C mol), A incluye el factor de frecuencia, para encontrar su valor se utiliza el valor de 373 °K lo cual supone que la velocidad de reacción en ese punto es de 1 por lo que ln k = 0 por lo tanto de la ecuación anterior se tiene que:

$$\ln A = \frac{Ea}{RT} \quad \text{ecuación 3}$$

Larocque y O. Maas en 1941, descubrieron que la energía de activación necesaria para que se llevara a cabo un proceso kraft es de 32 000 cal/mol, el valor de ln A es 43.33. Con las consideraciones anteriores se puede expresar la ecuación 2 de manera que se obtenga la velocidad de reacción en una temperatura determinada:

$$\ln K = 43.33 - \frac{32000(\text{cal} / \text{mol})}{1.982(\text{cal} / \text{mol}^\circ\text{k})T} \quad \text{ecuación 4}$$

$$K = e^{\uparrow 43.33 - \frac{16161.62}{T}} \quad \text{ecuación 5}$$

De esta manera se calcula una velocidad de reacción puntual o relativa, con ésta se puede obtener una velocidad media (k/2) y como para cada temperatura se tendrá una velocidad relativa y una velocidad media, se puede obtener la velocidad acumulada, en el momento que se realiza la multiplicación de velocidad de reacción acumulada con el tiempo en el que se esta midiendo se obtiene el factor H. El resultado sirve para saber si la reacción a esa temperatura y en ese tiempo podrá llevarse a cabo, esto es independiente desde el punto de vista matemático del hidromódulo, carga de reactivos y materia prima, no así del proceso ya que por ejemplo para el proceso de cocción kraft se debe cumplir con un factor H de 1500 a 2000. Las etapas de penetración, difusión y adsorción generalmente aportan de 150 a 200 unidades, estas etapas se realizan a temperaturas bajas y si el proceso se quisiera mantener a estas temperaturas, por más que el tiempo se prolongara, iba a ser prácticamente imposible completar la cocción, razón por la cual se debe cocer contemplando una etapa de calentamiento, una etapa de impregnación, ésta se logra manteniendo por un espacio de tiempo una temperatura ligeramente más baja que la temperatura a la cuál se realizará la cocción y, concluida esta, se lleva a la temperatura de cocción y se prolonga el tiempo lo suficiente para asegurar cumplir con el factor H requerido.

El proceso de cocción kraft se caracteriza por pH de 13 -14, los compuestos activos tienen como base al sodio (Na⁺), el agente activo es ión hidróxido (OH⁻) y sulfuro ácido (HS⁻), la temperatura de 155 – 175 °C y el tiempo de 1 a 3 horas, en este caso los iones hidroxilo reaccionan tanto con los componentes aglutinantes de la madera pero también con los carbohidratos, pero, los iones HS⁻ tienen preferencia por la lignina, entonces la energía empleada en la reacción es selectiva a los componentes que no son carbohidratos, en este tipo de proceso se manejan dos fuentes de reactivos, uno llamado licor blanco, formado por una solución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S), y, licor negro que es una mezcla de licor blanco residual y componentes que estaban presentes en la madera, principalmente lignina.

El proceso a la sosa tiene como reactivo al hidróxido de sodio (NaOH), su pH se encuentra en un rango de 13-14, la base es el sodio (Na⁺) y su agente activo el ión hidróxido (OH⁻).

4 ANTECEDENTES

Dentro de los estudios disponibles relacionados con el objetivo de este trabajo, la tabla 3 muestra un comparativo de la información de especies de eucalipto estudiadas, así como las condiciones a las cuales se llevaron a cabo cada uno de los procesos, tanto de cocción, como de blanqueo. Cabe mencionar que no todos los estudios tienen incluido el blanqueo, en el comparativo se ubica la aportación del presente trabajo.

Tabla 3.- Concentrado de cocción y blanqueo en estudios previos de Eucalipto.

AUTOR	PROCESO	ESPECIE	TIEMPO Hr	REACTIVO %	TEMPERATURA °C	REN DI MIENTO %	SECUEN CIA BLAN QUEO	BLANCURA
Rodríguez (1971)	Sosa	Eucalipto	3	15.5	173	38		
			3.5	25.0	172	28.57		
Villalvazo (1973)	Kraft	<i>E. gigantea</i>	5	20	165	31.5	CEHP	83°GE
Chávez (1996)	Etanol- agua-sosa	<i>E. globulus labell</i>	1.5	19	175	42.8	CEHH	76.8%
Fernández (1998)	Kraft	<i>E. globulus ssp</i>	1.5	20.5	170	46.7		
		<i>E. dunnii</i>	1.5r	19.6	170	52		
Taques (1999)	Kraft	<i>E. globulus</i>	1.5	16	170			
Ortega et all (2005)	Kraft	<i>E. camaldulensis</i>	2.5	15.5	160	35.1	CDEpPD OAZEopPP	87.3% 82%
Gabriel et all (2005)	Kraft	<i>E. saligna</i>	2.5	15.5	160	39.5	CDEpPD OAZEopPP	85.55% 86.91%
Patt et al. (2005)	Kraft	<i>E. globulus</i>				54.6	TCF	88.7%
Nancy E Rodríguez	Kraft	<i>E. citriodora</i>	2 2.5	14	160		CDEpPD OAZEopPP	
	Sosa			13 18 24				

Rodríguez (1971) realiza cocimientos a la sosa con madera de eucalipto, sin mencionar la especie, reportando un rendimiento de 38.0% al cocer a 115 lb/plg², 343 °F, 3 horas

y 15.5% de reactivos, y de 28.57% al pulpear a 110 lb/plg², 342 °F, 3.5 horas y 25.8% de reactivos.

Villalvazo (1973) lleva a cabo cocimientos kraft de *E. gigantea* y encuentra un rendimiento de 31.5%, cuando las condiciones fueron: temperatura de 165 °C, tiempo de 300 minutos, 20% de reactivos y a 8 kg/cm² de presión. La pulpa la blanquea mediante la secuencia CEHP, logrando una blancura de 83 °GE.

López (1990) obtiene pulpa kraft para la producción de papel liner, utilizando *Eucalyptus saligna*. La pulpa cumplió con las especificaciones básicas del papel corrugado de flauta, pero no con las de papel liner y dio a conocer que el conjunto de niveles que produce la hoja con mejores características mecánicas y un buen rendimiento fueron las siguientes: álcali activo 13%, sulfidez 30%, temperatura 175°C y un tiempo de cocción 100 minutos, empleando un tamaño de astilla de 6x6x18mm.

Gutiérrez (1990) evaluó las propiedades de la pulpa obtenida mediante pulpeo químico, por el método organosolv modificado, a partir de la madera de *E. saligna* de San Ramón, Costa Rica. Las condiciones de operación fueron: temperaturas de 175 y 185°C, concentraciones de etanol de 30 y 50%, tiempos de cocción 150 y 240 minutos y una concentración de NaOH de 1.5%, con un tamaño de astilla de 6x6x18mm, el tiempo de calentamiento de 45 minutos y una relación de baño de 1:7.

Ávila (1996) realiza un estudio de mercado de *E. saligna* en el Valle Central Occidental de Costa Rica, en base al desarrollo de la actividad forestal que cada vez es más importante en ese país. En este tenor, se está trabajando en el establecimiento de especies nativas y exóticas de alto valor comercial, donde cuyo crecimiento sea rápido y favorezca a cubrir la demanda maderable del país.

Chávez (1996) realiza cocimientos etanol-agua-sosa con madera de *E. globulus* Labell a 175 °C, 90 minutos y 19.0% de reactivos, alcanzando un rendimiento de 42.8%. Aplica la secuencia de blanqueo CEHH, resultando una blancura de 76.8%.

Fernández (1998) obtiene pulpa kraft con maderas de *E. globulus* ssp. *globulus* y *E. dunnii*, extraídas de bosques técnicos de Uruguay. Para la primer especie el rendimiento fue de 46.7% al pulpear a 170 °C, 90 minutos con álcali activo de 20.5%. Para la segunda especie el rendimiento fue de 52% cuando las condiciones fueron las mismas, pero con 19.6% de álcali activo.

Taques (1999) en su trabajo de pulpeo kraft a partir de madera de *E. globulus* logra una viscosidad de 18.05 cp y número de Kappa de 15.06 al cocer a 170 °C, 90 minutos, álcali activo de 16.0% y sulfidez de 20.83%.

Patt *et al.* (2005) reportan para pulpa Kraft de *E. globulus* un rendimiento de 54.6%, con número de Kappa de 18.2 y un grado de blancura de 27.3% y al blanquear la pulpa mediante TCF el valor alcanzado fue de 88.2 %ISO.

Ortega et al(2005), en su investigación de blanqueo de pulpa de *Eucalyptus camaldulensis* obtenida por proceso kraft con un rendimiento de 36.2 %, logra una blancura de 87.3 % con una secuencia que incluye cloro (CDEpPD) y 82 % para una secuencia libre de cloro (OAZEopPP).

Gabriel et al(2005), realiza el blanqueo con secuencia convencional CDEpPD y una libre de cloro OAZEopPP en *Eucalyptus saligna* procesada con cocción kraft (39.7 % de rendimiento a 15.5 % de reactivos y 120 minutos), obteniendo 85.5 % y 86.9 % de blancura respectivamente.

5 OBJETIVOS

- Obtener pulpa por el proceso kraft de la madera de *Eucalyptus. citriodora*
- Obtener pulpa por el proceso a la sosa de *E. citriodora*
- Blanquear las pulpas mediante una secuencia que incluya cloro
- Blanquear las pulpas mediante una secuencia totalmente libre de cloro
- Determinar las propiedades físico-mecánicas en hojas estándar de pulpa kraft y a la sosa, sin blanquear y blanqueada
- Analizar el licor kraft residual
- Analizar el licor a la sosa residual
- Comparar los datos aquí obtenidos, con datos reportados en la literatura sobre la madera del género *Quercus conspersa*

6 HIPOTESIS

De acuerdo con los objetivos establecidos se sostiene la siguiente hipótesis:

Mediante el pulpeo kraft y a la sosa se puede obtener pulpa celulósica de la madera de *Eucalyptus citriodora*, con propiedades físico-mecánicas similares o mejores a la pulpa celulósica obtenida de madera de *Q. conspersa*, especie también de fibra corta, utilizada en la industria de la pulpa.

7 JUSTIFICACION

En México la industria de la celulosa consume principalmente maderas del género *Pinus* (pino) y del género *Quercus* (encino), además del bagazo de caña de azúcar (CNICP 2001). Se reporta que desde los años 90's se ha tenido, en menor o mayor grado, un déficit de abastecimiento de madera y que una solución a esta problemática sería la implementación de plantaciones forestales comerciales con maderas de eucalipto (Macías 1993), así, paulatinamente se ha iniciado esta actividad en los estados de Tabasco, Guerrero, Veracruz, Nayarit y Michoacán, pero no se dispone del número de hectáreas plantadas. Algunas experiencias indican que la pulpa celulósica obtenida de especies de eucalipto es de buena calidad (FAO 1981, Montoya 1995), se reporta que esta pulpa es utilizada para la fabricación de papel "tissue" y para escritura e impresión, ya que concede al papel propiedades como: alta opacidad, alta suavidad, alta absorción, formación homogénea, alto volumen y de entre las propiedades físicas de la pulpa a resaltar se encuentra el bajo "coariness" es decir, espesor de pared (Casulla 2004).

Brasil es actualmente el principal productor de pulpa celulósica de *Eucalyptus* a nivel mundial; a principios de los 70's Portugal inició la comercialización pulpa celulósica de estas especies. Actualmente la mayor área de plantaciones corresponde a América Latina y dentro de ella Brasil, con 2.9 millones de hectáreas (ha), seguido por Uruguay, Chile y Argentina, con 350000, 30000 y 240000 ha, respectivamente. En Europa, las plantaciones se concentran en la Península Ibérica con 600 a 700000 hectáreas en Portugal y 500000 a 600000 ha en España. Sudáfrica tiene más de 470000 ha de plantaciones. China está aumentando rápidamente el área de plantaciones, que se estima superan las 600000 – 700000 ha. (www.aracruz.com.br)

Las especies de *Eucalyptus* se han cultivado para cubrir una amplia variedad de necesidades, incluyendo protección y sombra, así como la producción de pulpa para papel, carbón vegetal, leña, postes y columnas. Los Eucaliptos son especies de la familia Mirtaceae, originarias de Oceanía, Australia y algunas Islas de ese continente, desarrollándose al sur de la "Línea Wallace". Existen más de 500 especies que incluyen adaptabilidad a un amplísimo espectro de sitios, sistemas de manejo y variedades de uso, tanto en bosques naturales como plantaciones (www.aracruz.com.br, www.eufores.com).

Desde hace años es conocido que entre las especies de *Eucalyptus* más importantes en el mundo, en términos de incremento corriente anual, se incluye el *E. citriodora*, cuya madera es de color castaño claro a gris castaño, es durable y tiene una densidad de 0.9-1.1g/cm³ (Mangieri, Dimitri 1961).

Se considera entonces importante, realizar este estudio con la madera de *E. citriodora*, especie de rápido crecimiento, a fin de sugerir su empleo o no en plantaciones comerciales forestales del Estado de Michoacán para la industria de la celulosa y contribuir a la protección y recuperación de los bosques naturales; cabe mencionar que el presente trabajo se realiza en el marco de un proyecto de investigación aprobado por

los Fondos Mixtos CONACYT – Gobierno de Michoacán , y en conjunto con la empresa CRISOBA Industrial S.A. de C.V.

Es conocido que en el país existen problemas de sobreexplotación, sub-utilización y deforestación, lo que ocasiona una presión sobre los bosques existentes. Esta problemática ya se ha analizado en algunos sectores y se ha iniciado con algunas posibles soluciones, una de ellas es la implementación y uso de especies de *Eucalyptus* en plantaciones forestales comerciales. Árboles de este género son de rápido crecimiento (FAO 1981, Montoya 1995). Considerando la propuesta anterior como una solución potencial para la industria de celulosa y papel, es necesario entonces, realizar estudios de pulpeo con las especies de eucalipto que vegetan en Michoacán, el eucalipto ha encontrado una buena adaptación para diferentes especies y siendo esta una especie exótica, se ha introducido con propósitos de recuperación y protección de suelos, o bien para formar áreas de esparcimiento para la población.

En la gran mayoría de los municipios de Michoacán habita el Eucalipto, algunas especies que se pueden mencionar son (Martínez 1988):

Eucalyptus gunni, *E. sideroxylon*, *E. resinifera*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. bridgesiana*, *E. robusta*, *E. viminalis*, *E. astringens*, *E. citriodora*, *E. maculata*, *E. saligna*, *E. cinerea*.

Realizando estudios de pulpeo en las especies existentes se podrá contar con la información necesaria para así poder proponer, fundamentadamente, que especies podrían ser empleadas para este fin. De esta manera, en el presente trabajo se estudia la especie *E. citriodora*, que con una edad aproximada de siete años alcanza en promedio un diámetro a la altura del pecho (dap) de 25 a 30 cm.

8 METODOLOGÍA

La ruta metodológica para realizar la investigación abarca desde la selección del árbol, el derribo, preparación del mismo, las cocciones mediante diferentes procesos, blanqueo, elaboración de hojas para evaluaciones físicas y mecánicas. El siguiente diagrama muestra el flujo de la investigación de manera general.

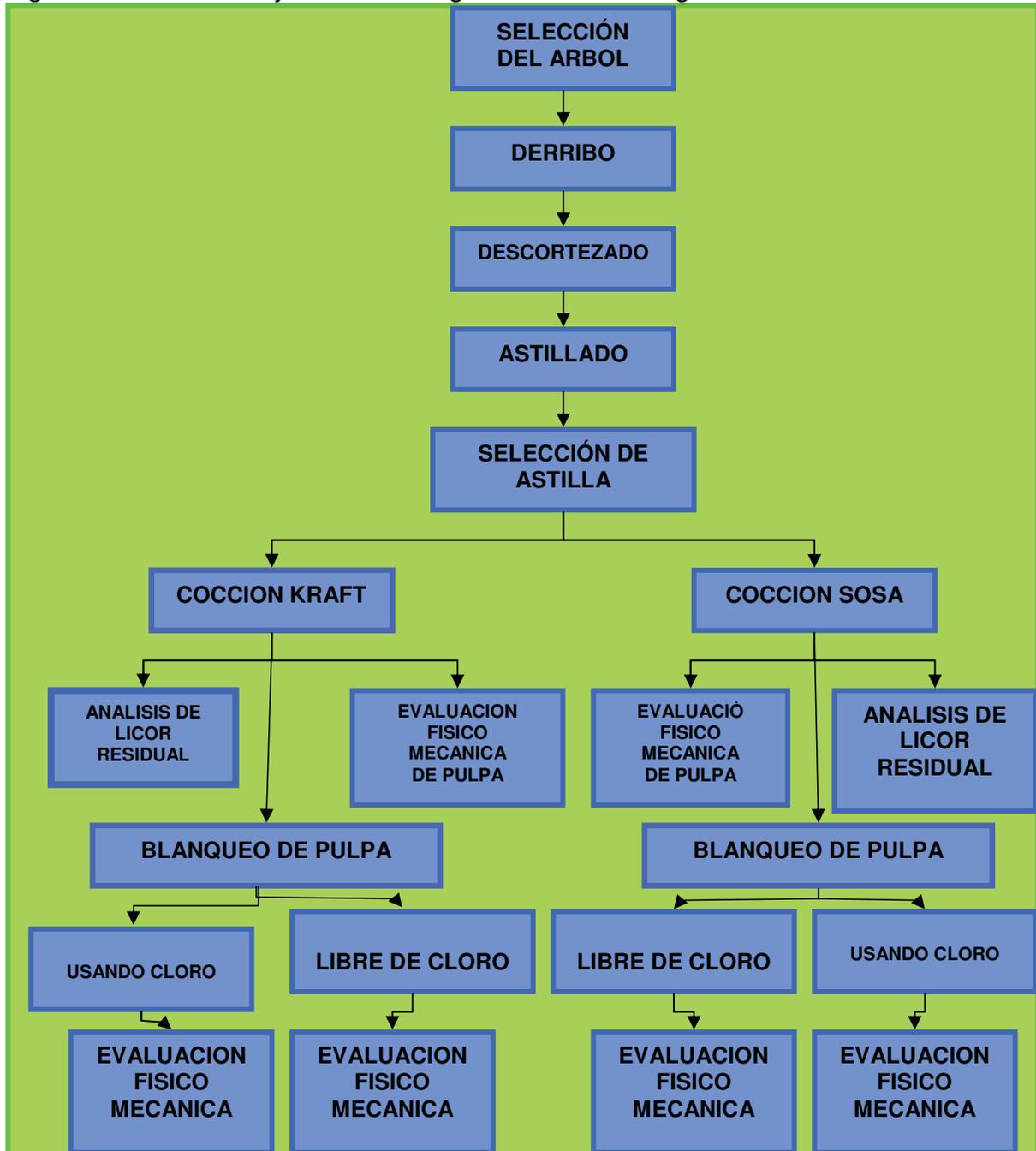


Diagrama 2.- Diagrama de flujo general de la investigación.

8.1 Área de colecta y material de estudio



Diagrama 3.- Preparación del material de estudio.

La plantación experimental de la cual se tomó el material de estudio se encuentra en la planta de Crisoba Industrial S.A. de C.V. en Morelia, especie *Eucalyptus citriodora*, junto con esta especie vegetan 5 más, las características de esta zona son((INEGI 2004):

Clima: subhúmedo con lluvias en verano de acuerdo con el sistema W. Koppen.

Temperatura promedio anual: 17.7 °C

Temperatura máxima durante el periodo Mayo – Junio: 20.3 °C

Temperatura mínima durante el periodo Diciembre – Enero: 14.4 °C

Precipitación anual promedio: 780.2 mm

Coordenadas geográficas: Latitud 19° 38.8´ Longitud 101° 15.5´

Altura sobre el nivel del mar: 1997 m

Limites geográficos: Al norte con San Juanito Itzicuaru, al sur con Cointzio, al oeste con La Mintzita y al este con la Tenencia Morelos.

Se derribó el árbol con una motosierra y es troceado a partir de 30 cm del suelo, después se cortan trozas de 1.2 m, seguida de 0.3 m, 1.2 m, 1.2 m y antes de empezar las ramas se corto el último trozo de 0.3 m, la figura 13 esquematiza lo expuesto anteriormente.

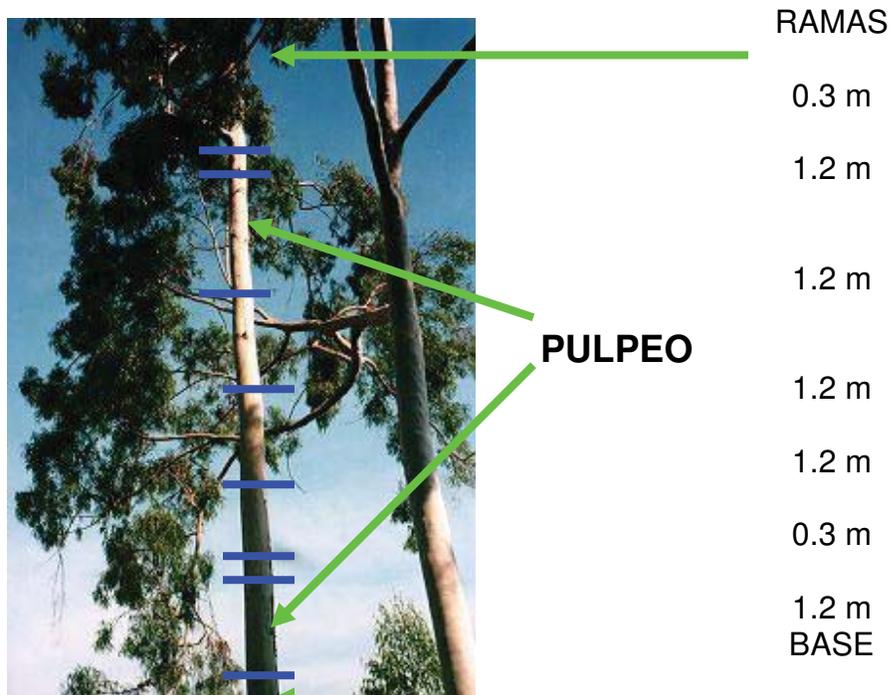


Figura 13.- Ubicación de las zonas de estudio en el árbol.

El trozo de 1.2 m más cercano a la base y el más cercano a las ramas fueron los utilizados para realizar el pulpeo, ambos fueron descortezados manualmente y posteriormente astillados por separado, en un astillador de disco vertical propiedad de Crisoba Industrial Planta Morelia con las siguientes características técnicas.

Modelo y No de Serie IC – 5052 – 83

Diámetro del disco 112 “

Material Acero

Cuchillas Grosor 1/2”

Ancho 3”

Longitud 30 “

Tipo de carga Segmental – Normal

Descarga de la astilla por gravedad

Es necesario mencionar que con la finalidad de tener las mejores condiciones en el astillado éste se realizó con cuchillas nuevas y cada vez que se astillaba un trozo se limpiaba con aire la tolva para evitar la contaminación.

La astilla obtenida siempre manipulada por separado, es decir, sin mezclar la proveniente del trozo inferior del árbol y la del trozo superior del mismo, fue clasificada, este clasificador de astilla del tipo de Barras y Orificios propiedad de Crisoba Industrial Planta Morelia, separaba la astilla de acuerdo con la siguiente clasificación (tabla 4):

Tabla 4.- Clasificación de astilla.

	CARACTERISTICAS DE LA PLATINA	ASTILLA	%
1	Diámetro de orificios de 45 mm	Largos	0
2	Ranuras con separación de 10 mm	Gruesos	1.1
3	Ranuras con separación de 8 mm	Aceptado	2.1
4	Diámetro de orificios 7 mm	Aceptado	91
5	Diámetro de orificios de 5 mm	Cortos	4.2
6	Diámetro de orificios de 3 mm	Palillos	1.4
7	Platina para retención de finos	Finos	0.2

Aceptar únicamente las fracciones 3 y 4, asegura una uniformidad en las cocciones.

8.2 Pulpeo kraft y a la sosa

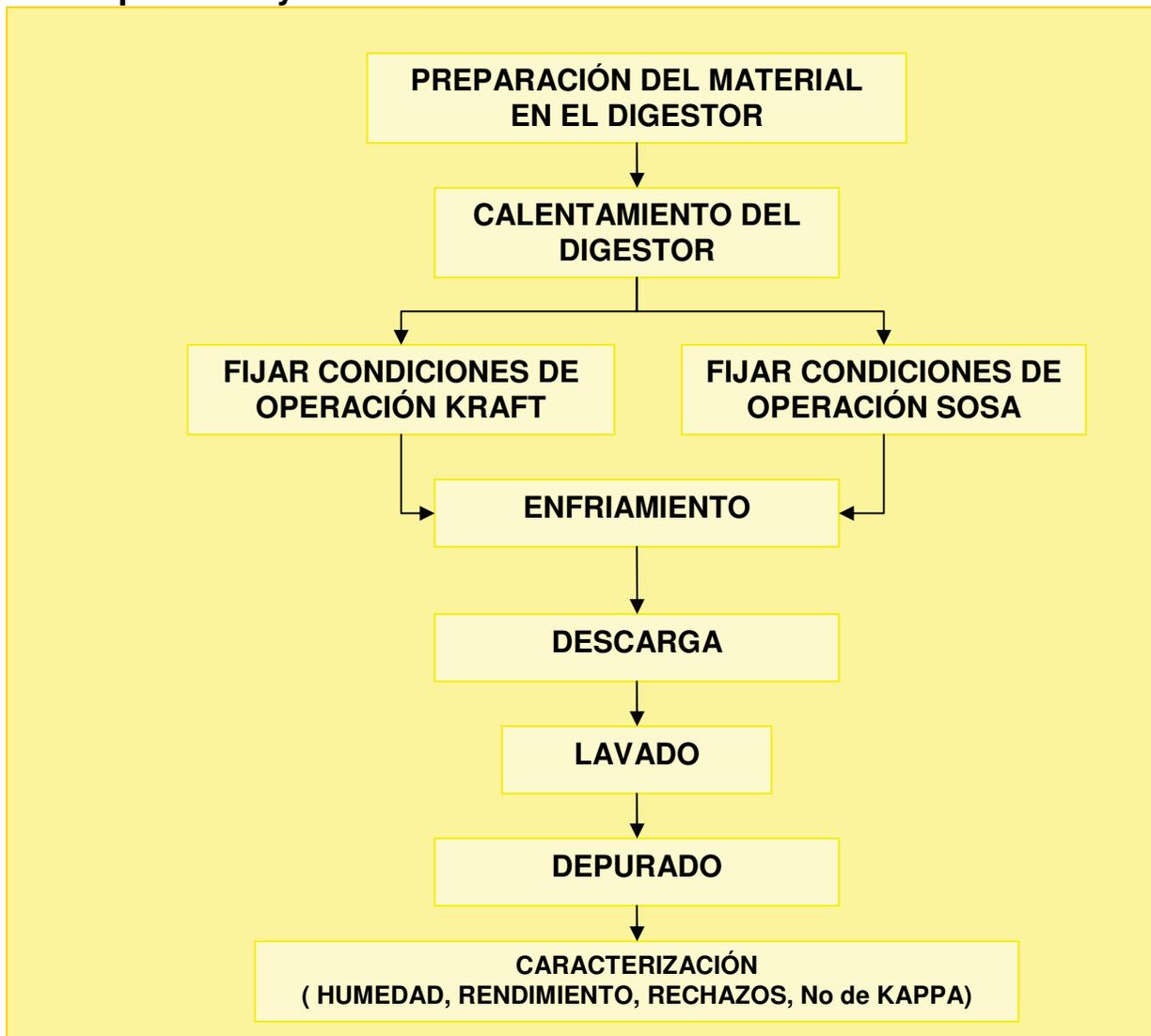


Diagrama 4.- Proceso de cocción.

El pulpeo mediante el proceso kraft se realiza tomando en cuenta las siguientes variables (tabla 5):

Tabla 5.- Variables en los procesos de cocción.

	COCCIÓN KRAFT	COCCIÓN A LA SOSA
Sulfidez	Fijo	0 %
Álcali activo	Fijo	49 % en peso
Temperatura de Cocción	160 °C	175 °C
Hidromódulo	4	3.5
Tiempo de cocción	Manipulado en 2 niveles 120 min, 150 min	Manipulado en 2 niveles 120 min, 180 min
Carga de reactivos (referida al peso de la madera base seca)	Manipulado en 2 niveles 14 %, 15.5 %	Manipulado en 3 niveles 18 %, 24 %, 28 %
Zona del árbol	Manipulado 3 niveles Arriba Abajo Mezcla 50/50 % arriba/abajo	Mezcla 50/50 % arriba/abajo
Cocciones	Experimento factorial $2 \times 2 \times 2$ zona X carga de reactivos X tiempo Experimento 2^k 2^3 2 carga de reactivos, tiempo Aplicado a la mezcla de astilla	Experimento 2^k 2^2 2 carga de reactivos, tiempo Aplicado a la mezcla de astilla

La figura 14 muestra la secuencia de cocción en cada uno de los procesos.

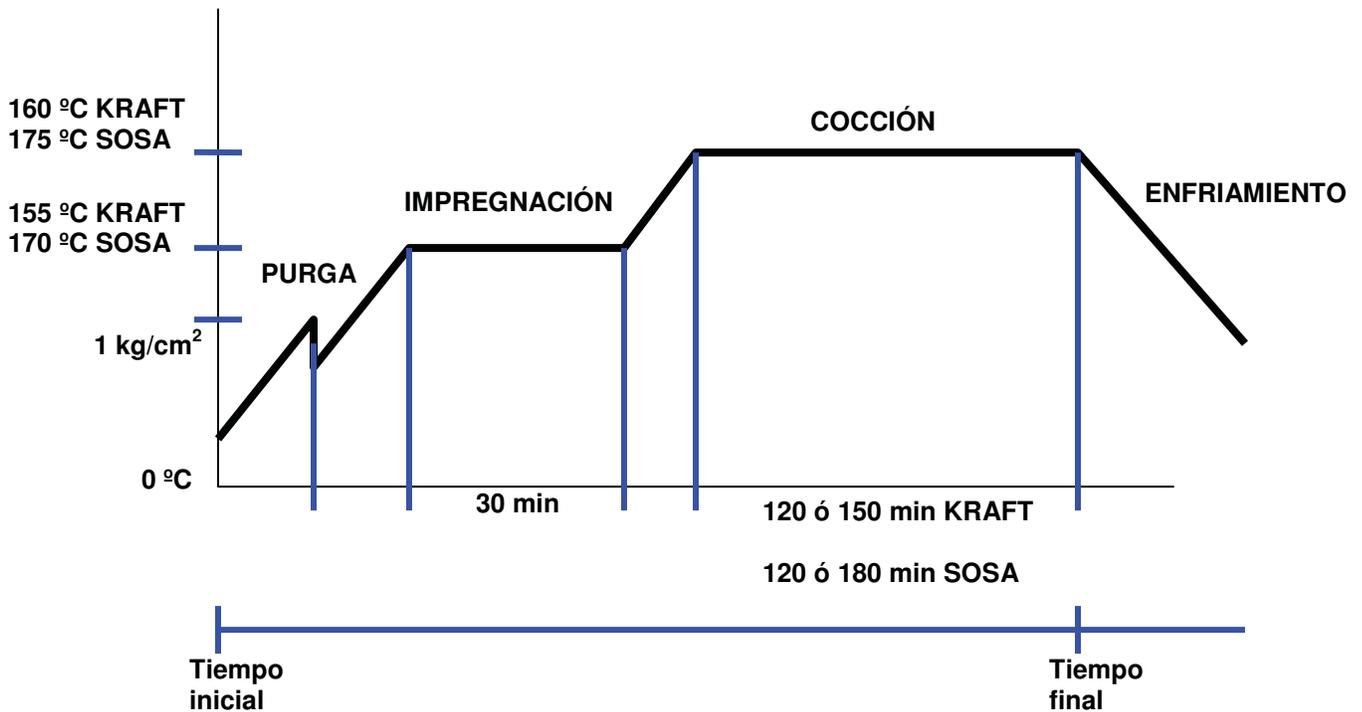


Figura 14.- Secuencia para el proceso de cocción.

Diseño experimental

Para la obtención de la pulpa kraft y para la pulpa a la sosa, se aplicó un diseño experimental factorial (Montgomery 1991).

El modelo estadístico para el diseño experimental factorial es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

α_i = efecto de la altura (A)

β_j = efecto de la carga de los reactivos (B)

γ_k = efecto del tiempo de cocción (C)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción altura-carga de reactivos (AB)

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = efecto de la interacción altura-tiempo (AC)

$(\beta\gamma)_{jk}$ = efecto de la interacción carga de reactivos-tiempo (BC)

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = efecto de la interacción altura-carga-tiempo (ABC)

ε_{ijk} = error aleatorio

Ejemplos de hipótesis estadísticas que se pueden probar con tal modelo se ilustran a continuación, para la variable de respuesta rendimiento:

H_0 : Efecto de $A=0$
 H_1 : Efecto de $A\neq 0$

H_0 : Efecto de $B=0$
 H_1 : Efecto de $B\neq 0$
 H_0 : Efecto de $C=0$
 H_1 : Efecto de $C\neq 0$

H_0 : Efecto de $AB=0$
 H_1 : Efecto de $AB\neq 0$

H_0 : Efecto de $AC=0$
 H_1 : Efecto de $AC\neq 0$

H_0 : Efecto de $BC=0$
 H_1 : Efecto de $BC\neq 0$

H_0 : Efecto de $ABC=0$
 H_1 : Efecto de $ABC\neq 0$

El nivel de confianza estadística con el que se analizaron los datos fue del 95 %, es decir con un nivel de significancia del 0.05 utilizando el programa Statgraphics Plus Versión 4.0

Corridas experimentales para el proceso kraft diseño factorial 2X2X2 (tabla 6) con una réplica:

Tabla 6.- Definición de corridas para el diseño factorial 2X2X2 kraft.

CORRIDA	ALTURA	TIEMPO	CARGA
1	ABAJO	120	14
2	ABAJO	120	14
3	ABAJO	120	15.5
4	ABAJO	120	15.5
5	ABAJO	150	14
6	ABAJO	150	14
7	ABAJO	150	15.5
8	ABAJO	150	15.5
9	ARRIBA	120	14
10	ARRIBA	120	14
11	ARRIBA	120	15.5
12	ARRIBA	120	15.5
13	ARRIBA	150	14
14	ARRIBA	150	14
15	ARRIBA	150	15.5
16	ARRIBA	150	15.5

Variables de respuesta: rendimiento, No kappa, rechazos.

Corridas diseño 2^K (tabla 7) para la segunda etapa de cocción kraft:

Tabla 7.- Definición de corridas para el diseño 2^k segunda etapa de cocción kraft.

CORRIDA	ALTURA	TIEMPO	CARGA
1	ABAJO	120	14
2	ABAJO	150	14
3	ABAJO	120	15.5
4	ABAJO	150	15.5
5	ARRIBA	120	14
6	ARRIBA	150	14
7	ARRIBA	120	15.5
8	ARRIBA	150	15.5
9	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	14
10	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	150	14
11	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	15.5
12	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	150	15.5

Variables de respuesta: rendimiento, No kappa, rechazos

Corridas diseño factorial 3X2 (tabla 8) con replica para la cocción a la sosa:

Tabla 8.- Definición de corridas cocción a la sosa diseño 3X2.

CORRIDA	ALTURA	TIEMPO	CARGA
1	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	28
2	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	180	24
3	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	18
4	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	180	28
5	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	24
6	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	180	18
7	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	28
8	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	180	24
9	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	18
10	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	180	28
11	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	120	24
12	MEZCLA 50 % ARRIBA/ 50 % ABAJO	180	18

Variables de respuesta: rendimiento, No kappa, rechazos.

8.3 Evaluación físico-mecánica y óptica de la pulpa kraft y a la sosa

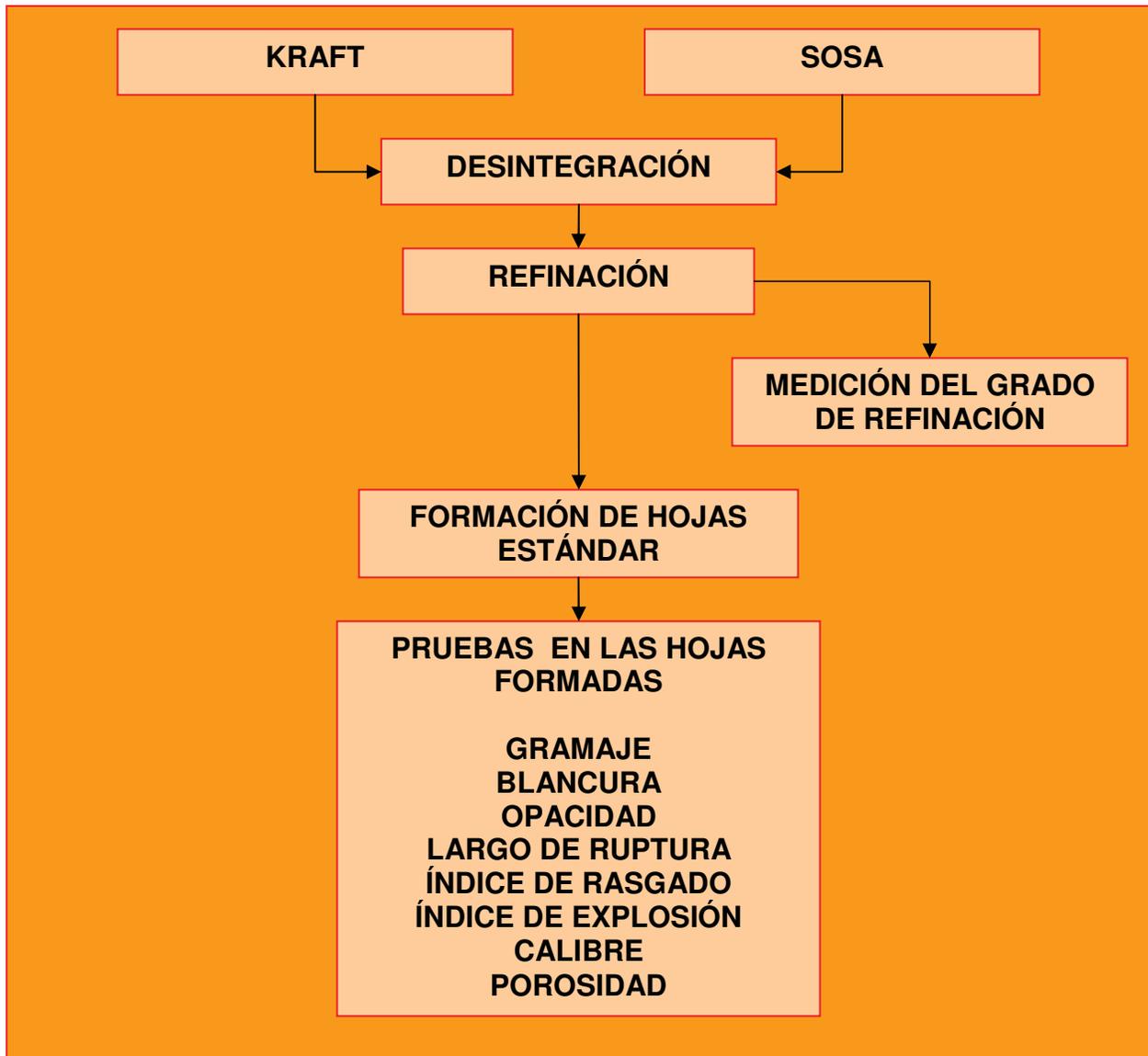


Diagrama 5.- Evaluación de pruebas físico-mecánicas pulpa café.

Desintegración: de acuerdo al método ISO 5263 y T 205 om-88, en un equipo marca Frank, con 5 minutos de tiempo de residencia a una consistencia del 1.5 %.

Refinación: realizado en un molino Jokro método relativo a ISO 5264/3. En este equipo se refinan de 1 a 6 muestras diferentes y aplica a todo tipo de pulpas, aunque cabe mencionar que para pulpas de fibras muy largas ya no es tan conveniente. La refinación se aplicó a 0, 15, 30, 45 y 60 minutos para la pulpa kraft y 0, 10, 20, 30 y 40 minutos para la pulpa a la sosa.

Medición del grado de refinación: método Schopper Riegler relativo a ISO 5267/1. Debido a que durante la refinación una de las consecuencias es la reducción de la

longitud de fibra, incremento de la superficie área específica de la fibra y el incremento de la flexibilidad debida a la fibrilación interna y externa, se tiene la medición de los grados Schoper Riegler (°SR) , esta medición se realiza para cada uno de los puntos a los cuales se refino la fibra.

Formación de hojas estándar: utilizado el Método convencional para la formación de hojas estándar relativo a ISO 5269/1 y TAPPI T 205 om – 88.

Pruebas físico-mecánicas y ópticas: realizadas de acuerdo a las siguientes normas extraídas de TAPPI 2000 :

Calibre	T 411 om-89
Largo de ruptura	T 404 cm-92
Índice de rasgado	T 414 om-88
Porosidad	T 460 om-88
Opacidad	T 519 os-70
Blancura	T 525 os-72
Gramaje	T 411 om-89

8.4 Blanqueo de la pulpa kraft y a la sosa

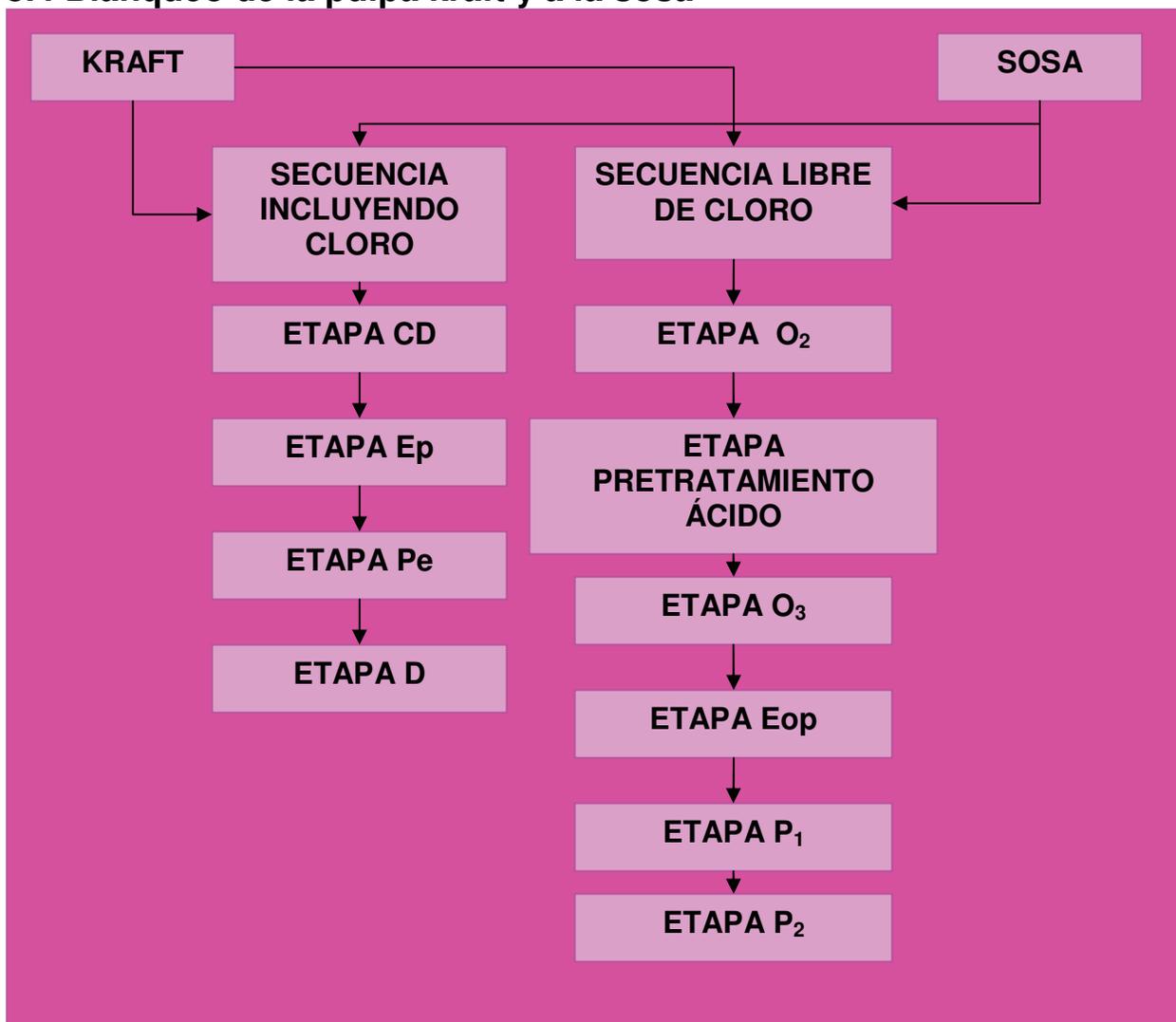


Diagrama 6.- Blanqueo de pulpa.

Blanqueo de la pulpa kraft mediante una secuencia que incluye cloro (CDEpPeD)

ETAPA CD

Las condiciones de operación mediante las cuales se realizó el blanqueo son las siguientes:

Tabla 9.- Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro primera etapa.

Consistencia	4.5 %
Tiempo	45 minutos
Temperatura	60 °C
pH inicial	2.04
Reactivos: Cloro (Cl ₂)	2.25 % en peso
Dióxido (ClO ₂)	1.25 % en peso

Se llevó a cabo la adición de agua necesaria de acuerdo a la cantidad de pulpa disponible; utilizando un equipo Hobart modelo A-2 se realizó la homogenización de la pulpa para posteriormente bajo una campana de extracción, adicionar los reactivos dada su toxicidad, procediendo a colocar y sellar en bolsas de plástico la mezcla para colocarla en una baño María logrando de esta forma todas las condiciones necesarios en esta etapa.

ETAPA Ep

Los parámetros de operación son los siguientes:

Tabla 10.- Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro segunda etapa.

Consistencia	12.0 %
Tiempo	60 minutos
Temperatura	70 °C
pH inicial	11.74
Reactivos: Hidróxido de sodio (NaOH)	2.1 % en peso
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.0 % en peso

Homogenización de la mezcla en el equipo Hobart modelo A-2, la colocación de la mezcla en el baño María en bolsas de plástico.

ETAPA Pe

Parámetros de operación:

Tabla 11.- Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro tercer etapa.

Consistencia	12 %
Tiempo	180 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	10.64
Reactivos: Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.5 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	1.0 %
Tiosilicato de sodio (Na ₂ SiO ₃)	1.0 %
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	0.05 %

El tratamiento para acondicionar la muestra y llevar a acabo la etapa se realiza igual que en la etapa anterior.

ETAPA D, Definición de parámetros de operación:

Tabla 12.- Blanqueo pulpa kraft secuencia cloro cuarta etapa.

Consistencia	12 %
Tiempo	180 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	5.74
Reactivos: Dióxido (ClO ₂)	0.5 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	0.1 %

Procedimiento igual que en la primera etapa.

Blanqueo de la pulpa sosa mediante una secuencia que incluye cloro (CDEpPeD)

ETAPA CD, Condiciones de operación:

Tabla 13.- Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro primera etapa.

Consistencia	4.5 %
Tiempo	30 minutos
Temperatura	60 °C
pH inicial	2.06
Reactivos: Cloro (Cl ₂)	2.25 % en peso
Dióxido (ClO ₂)	1.25 % en peso

Se llevó a cabo la adición de agua necesaria de acuerdo a la cantidad de pulpa disponible. Utilizando un equipo Hobart modelo A-2 se realizó la homogenización de la pulpa para posteriormente bajo una campana de extracción, adicionar los reactivos, dada su toxicidad, procediendo a colocar y sellar en bolsas de plástico la mezcla para colocarla en una bañó María logrando de esta forma todas las condiciones necesarios en esta etapa.

ETAPA Ep, Parámetros de operación :

Tabla 14.- Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro segunda etapa.

Consistencia	12.0 %
Tiempo	60 minutos
Temperatura	70 °C
pH inicial	12.46
Reactivos: Hidróxido de sodio (NaOH)	2.1 % en peso
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.0 % en peso

Homogenización de la mezcla en el equipo Hobart modelo A-2, la colocación de la mezcla en el baño maría en bolsas de plástico

ETAPA Pe, Parámetros de operación:

Tabla 15.- Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro tercer etapa.

Consistencia	12 %
Tiempo	120 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	11.4
Reactivos: Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.5 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	1.0 %
Tiosilicato de sodio (Na ₂ SiO ₃)	1.0 %
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	0.05 %

El tratamiento para acondicionar la muestra y llevar a cabo la etapa se realiza igual que en la etapa anterior.

ETAPA D

Definición de parámetros de operación:

Tabla 16.- Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro carta etapa.

Consistencia	12 %
Tiempo	180 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	5.74
Reactivos: Dióxido (ClO ₂)	0.5 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	0.1 %

Procedimiento igual que en la primera etapa, en el blanqueo de la pulpa kraft y sosa al terminar cada etapa se realiza el lavado, centrifugado y homogenizado.

Blanqueo de la pulpa kraft mediante una secuencia libre de cloro (OAZEopP₁FAS)

Para la homogenización de cada una de las mezclas en las diferentes etapas, el equipo utilizado fue el Hobart modelo A-2. En las etapas de oxígeno se utilizó un digestor tipo Jayme rotatorio, provisto de resistencias para el calentamiento. La etapa de ozono se realizó en un equipo generador eléctrico de ozono de alto voltaje y bajo amperaje (Fisher ozon-Generator). Después de cada etapa se lava, centrifuga y homogeniza la pulpa, lo explicado anteriormente aplica tanto para ambas pulpas, kraft y sosa.

ETAPA O

Tabla 17.- Blanqueo pulpa kraft libre de cloro primera etapa.

Consistencia	10 %
Tiempo	60 minutos
Temperatura	100 °C
pH inicial	12.68
Presión de oxígeno (O ₂)	4 kg/cm ²
Reactivos: Hidróxido de sodio (NaOH)	2.5 %
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	0.5 %

ETAPA A

Tabla 18.- Blanqueo pulpa kraft libre de cloro segunda etapa.

Consistencia	3 %
Tiempo	30 minutos
Temperatura	Ambiente
pH final	3
Reactivos: Acido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	Hasta ajustar pH

ETAPA Z

Tabla 19.- Blanqueo pulpa kraft libre de cloro tercera etapa.

Consistencia	39 %
Tiempo	20.216 minutos
Temperatura	Ambiente
Reactivos: Ozono (O ₃)	1.3 %

ETAPA Eop

Tabla 20.- Blanqueo pulpa kraft libre de cloro cuarta etapa.

Consistencia	10 %
Tiempo	90 minutos
Temperatura	90 °C
pH inicial	12.06
Presión de oxígeno (O ₂)	2 kg
Reactivos: Hidróxido de sodio (NaOH)	2.5 %
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.2 %

ETAPA P₁**Tabla 21.- Blanqueo pulpa kraft libre de cloro quinta etapa.**

Consistencia	15 %
Tiempo	120 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	11.01
Reactivos: Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.5 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	0.8 %
Tiosilicato de sodio (Na ₂ SiO ₃)	1.5 %
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	0.05 %

ETAPA FAS**Tabla 22.- Blanqueo pulpa kraft libre de cloro sexta etapa.**

Consistencia	5 %
Tiempo	17 minutos
Temperatura	70 °C
pH inicial	10.10
Reactivos: Ácido formamidinsulfínico (FAS)	2.0 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	1.0 %

Blanqueo de la pulpa sosa mediante una secuencia libre de cloro (OAZEopP₁P₂)**ETAPA O****Tabla 23.- Blanqueo pulpa sosa libre de cloro primera etapa.**

Consistencia	10 %
Tiempo	60 minutos
Temperatura	100 °C
pH inicial	13.08
Presión de oxígeno (O ₂)	4 kg/cm ²
Reactivos: Hidróxido de sodio (NaOH)	3.0 %
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	0.5 %

ETAPA A**Tabla 24.- Blanqueo pulpa sosa libre de cloro segunda etapa.**

Consistencia	3 %
Tiempo	30 minutos
Temperatura	Ambiente
pH final	3
Reactivos: Acido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	Hasta ajustar pH

ETAPA Z

Tabla 25.- Blanqueo pulpa sosa libre de cloro tercer etapa.

Consistencia	40 %
Tiempo	25.13 minutos
Temperatura	ambiente
Reactivos: Ozono (O ₃)	1.3 %

ETAPA Eop

Tabla 26.- Blanqueo pulpa sosa libre de cloro cuarta etapa.

Consistencia	10 %
Tiempo	90 minutos
Temperatura	60 °C
pH inicial	12.18
Presión de oxígeno (O ₂)	2 kg
Reactivos: Hidróxido de sodio (NaOH)	1.0 %
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	0.7 %

ETAPA P₁

Tabla 27.- Blanqueo pulpa sosa libre de cloro quinta etapa.

Consistencia	15 %
Tiempo	120 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	11.03
Reactivos: Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.2 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	0.7 %
Tiosilicato de sodio (Na ₂ SiO ₃)	1.0 %
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	0.05 %

ETAPA P₂

Tabla 28.- Blanqueo pulpa sosa libre de cloro sexta etapa.

Consistencia	15 %
Tiempo	120 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	10.75
Reactivos: Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	1.0 %
Hidróxido de sodio (NaOH)	0.5 %
Tiosilicato de sodio (Na ₂ SiO ₃)	1.5 %
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	0.05 %

8.5 Evaluación físico-mecánica de las pulpas blanqueadas.

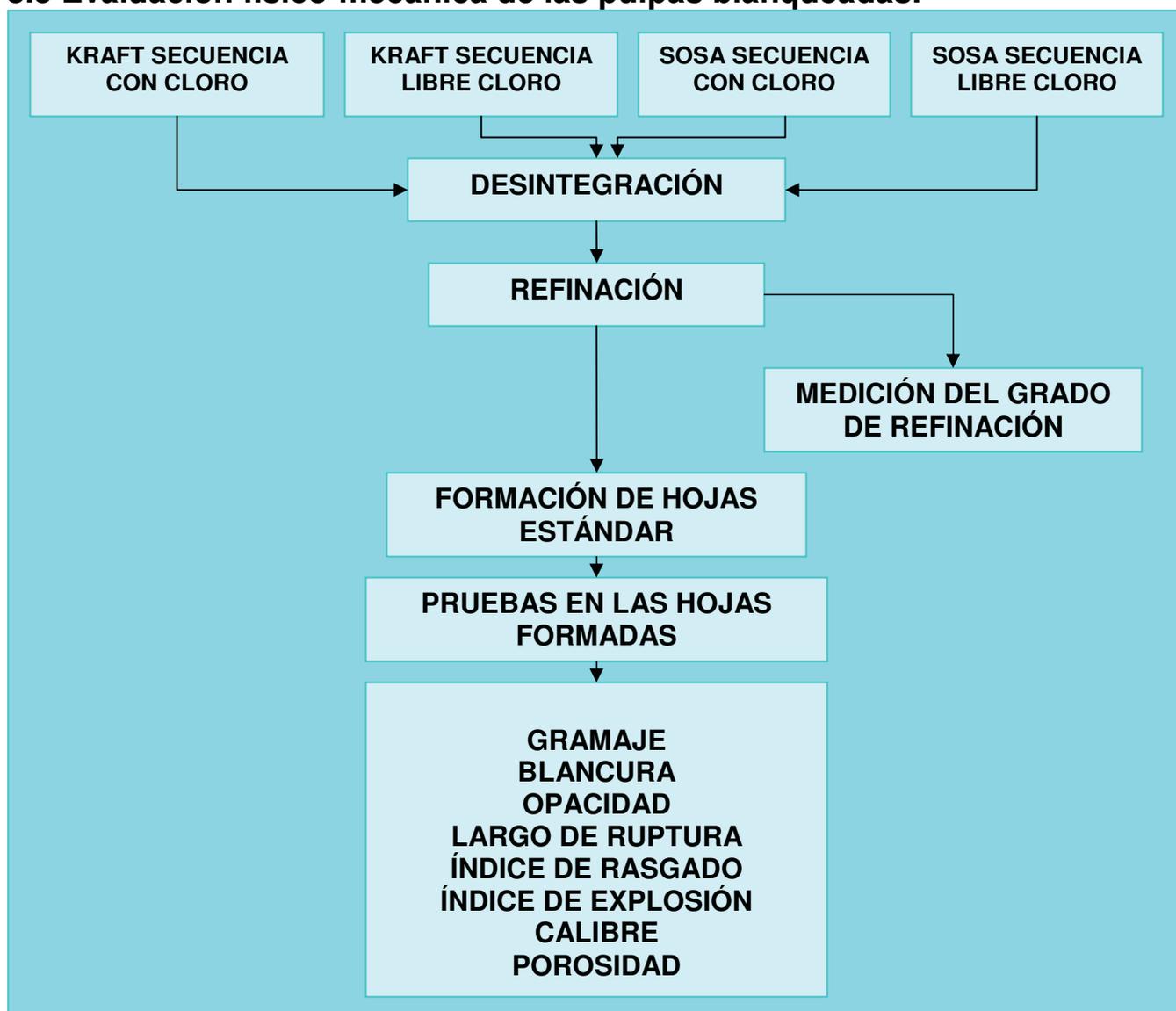


Diagrama 7.- Evaluación de pruebas físico-mecánicas para las pulpas blanqueadas.

Esta etapa se lleva a cabo de la misma forma que para la evaluación de pruebas físico-mecánicas para la pulpa café.

8.6 Análisis de los licores residuales kraft y a la sosa

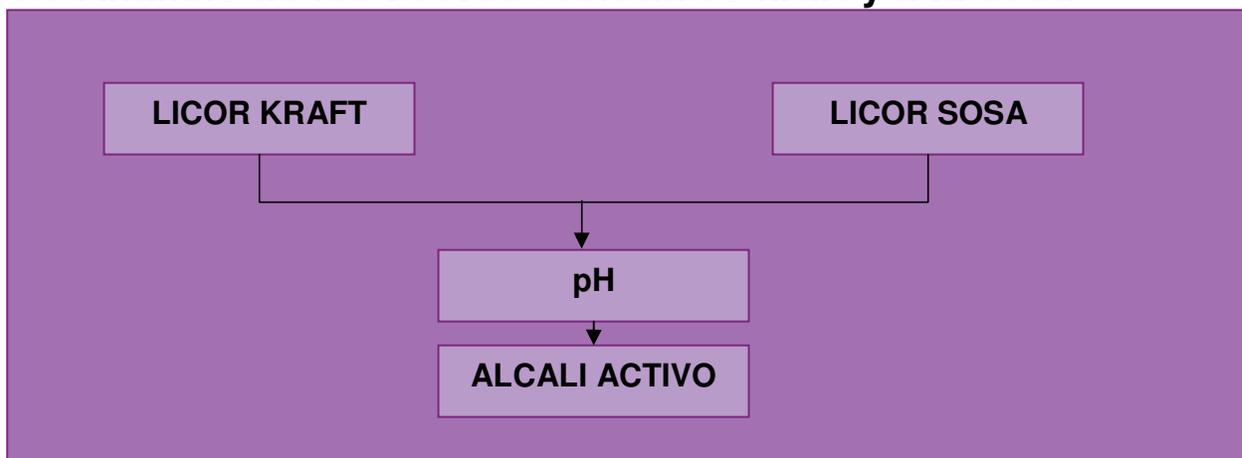


Diagrama 8.- Análisis licores de cocción.

El método utilizado para analizar los licores residuales, es el potenciométrico.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestra el análisis estadístico de los resultados obtenidos en las etapas de cocción, en cada caso se muestra el análisis de varianza, las gráficas de interacción para las tres combinaciones de variables, tiempo-carga, tiempo-zona, carga-zona, además la prueba de rangos múltiples y gráfica de medias en cada combinación.

9.1.- Pulpeo kraft y a la sosa Pulpeo kraft

Primera etapa de cocción diseño factorial 2X2X2 con una replica.

RENDIMIENTO

Tabla 29.- ANOVA para el rendimiento de la pulpa kraft.

Analysis of Variance for RENDIMIENTO - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:TIEMPO	9.9225	1	9.9225	12.13	0.0069
B:CARGA	14.8225	1	14.8225	18.13	0.0021
C:ZONA	13.69	1	13.69	16.74	0.0027
INTERACTIONS					
AB	0.4225	1	0.4225	0.52	0.4905
AC	1.21	1	1.21	1.48	0.2548
BC	6.25	1	6.25	7.64	0.0219
RESIDUAL	7.36	9	0.817778		
TOTAL (CORRECTED)	53.6775	15			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Analizando los datos que se muestran en la tabla 29 de ANOVA en la columna de p-Value, todas las variables presentan un valor menor a 0.05, por lo que se demuestra la hipótesis planteada demostrando que tiempo, carga y zona son estadísticamente significativos en el rendimiento.

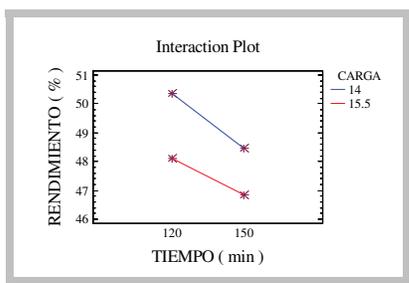


Figura 15.- Interacción tiempo-carga vs rendimiento pulpa kraft.

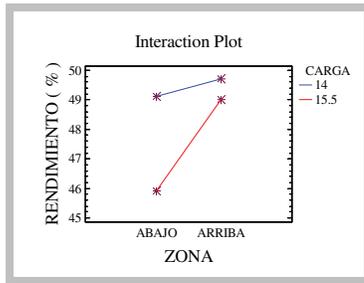


Figura 16.- Interacción zona-carga vs rendimiento pulpa kraft.

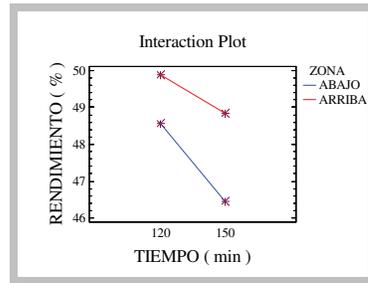


Figura 17.- Interacción tiempo-zona vs rendimiento pulpa kraft.

En las figuras 15, 16 y 17 se presenta la interacción de las diferentes combinaciones de variables sobre el rendimiento y se apoya lo obtenido en el ANOVA, ya que tiempo-carga y tiempo-zona no tienen efecto sobre la variable de respuesta, zona y carga si presentan aunque pequeña una influencia en el rendimiento.

Tabla 30.- Prueba de rangos múltiples para rendimiento de la pulpa kraft por tiempo.

Multiple Range Tests for RENDIMIENTO by TIEMPO			

Method: 95.0 percent LSD			
TIEMPO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

150	8	47.65	X
120	8	49.225	X

Contrast	Difference		+/- Limits

120 - 150	*1.575		1.02285

* denotes a statistically significant difference.			

En la tabla 30 se aprecia la interacción del tiempo de cocción, ya que el rendimiento se ve afectado al mover la variable tiempo, el rendimiento es mayor a un tiempo menor (120 min) esto se apoya con lo existente en la literatura ya que se demuestra que mientras se incrementa el tiempo de cocción se asegura más la deslignificación, pero se tiene un límite ya que llega un momento en el que se afecta al material celulósico ya que se degrada, esto sucede en el valor de 150 min ya que el rendimiento fue menor (47.65 %) (Casey 1990), la figura 18 apoya lo anterior.

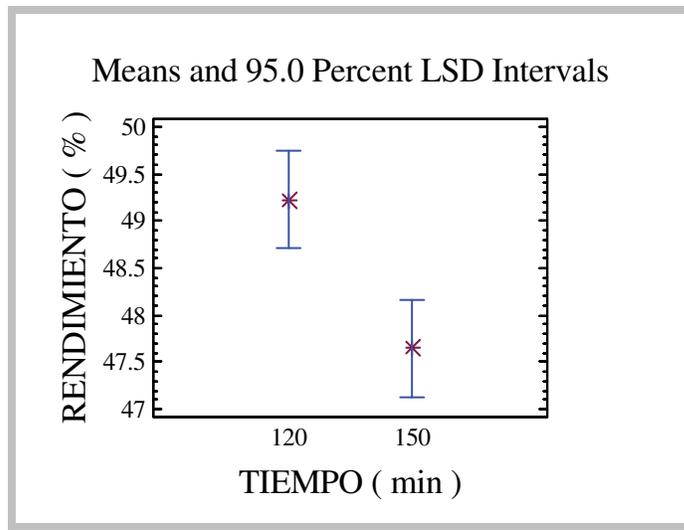


Figura 18.- Gráfica de medias para tiempo-rendimiento pulpa kraft.

Tabla 31.- Rangos múltiples rendimiento por carga pulpa kraft.

Multiple Range Tests for RENDIMIENTO by CARGA			

Method: 95.0 percent LSD			
CARGA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

15.5	8	47.475	X
14	8	49.4	X

Contrast		Difference	+/- Limits

14 - 15.5		*1.925	1.02285

* denotes a statistically significant difference.			

En el caso de la variable carga, la tabla 31 explica que a valores menores de carga (14 %), el rendimiento es mayor, en este caso coincide con el hecho reportado de que existe un valor óptimo para la carga de reactivos, ya que el rendimiento se incrementa cuando la carga se incrementa pero hasta ese punto óptimo, después de ahí se degradan los materiales celulósicos (Casey 1990), la figura 19 es el complemento de este análisis.

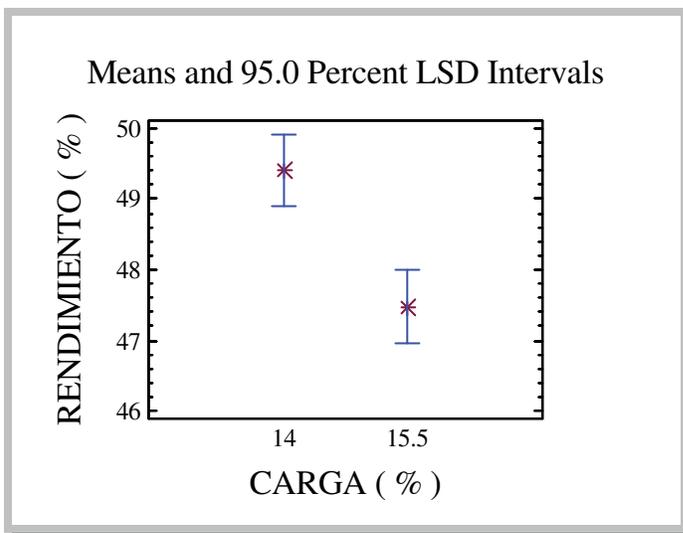


Figura 19.- Gráfica de medias para carga-rendimiento pulpa kraft.

En la tabla 32 y figura 20, encuentra el efecto de zona sobre rendimiento, en este caso se puede decir que los valores de rendimiento mayores encontrados en la parte superior, son atribuibles a la edad del árbol, en la zona de abajo el rendimiento es de 47.5 % y arriba de 49.3 %.

Tabla 32.- Prueba de rangos rendimiento por zona pulpa kraft.

Multiple Range Tests for RENDIMIENTO by ZONA			

Method: 95.0 percent LSD			
ZONA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

ABAJO	8	47.5125	X
ARRIBA	8	49.3625	X

Contrast	Difference		+/- Limits

ABAJO - ARRIBA	*-1.85		1.02285

* denotes a statistically significant difference.			

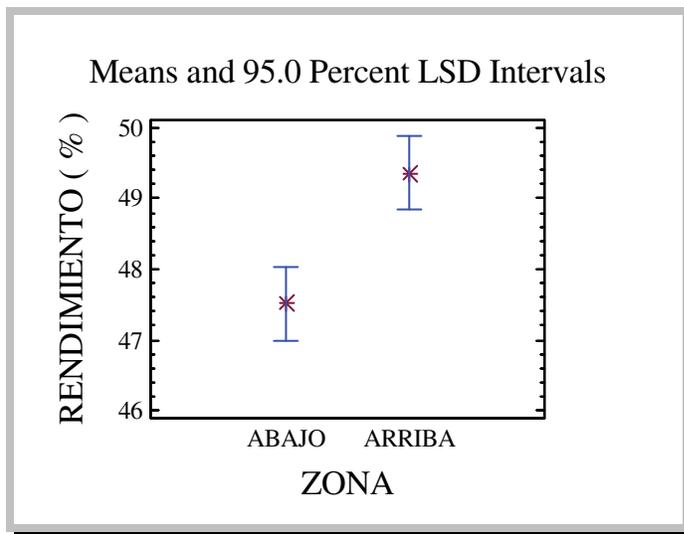


Figura 20.- Gráfica de medias zona-rendimiento pulpa kraft.

RECHAZOS

En la variable de respuesta rechazos, el análisis de varianza, sólo muestra estadísticamente significativo el efecto de la variable carga (tabla 33), las figuras 21, 22 y 23 muestran como al momento de combinar las variables tiempo-carga, tiempo-zona y carga-zona si existe un efecto estadístico sobre los rechazos, ésto lo apoya el resultado de la p-Value en la tabla 33.

Tabla 33.- ANOVA para lo rechazos de pulpa kraft.

Analysis of Variance for RECHAZOS - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:TIEMPO	0.04	1	0.04	1.46	0.2579
B:CARGA	0.2916	1	0.2916	10.63	0.0098
C:ZONA	0.0064	1	0.0064	0.23	0.6406
INTERACTIONS					
AB	0.3721	1	0.3721	13.57	0.0050
AC	0.6889	1	0.6889	25.12	0.0007
BC	0.9025	1	0.9025	32.91	0.0003
RESIDUAL	0.2468	9	0.0274222		
TOTAL (CORRECTED)	2.5483	15			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

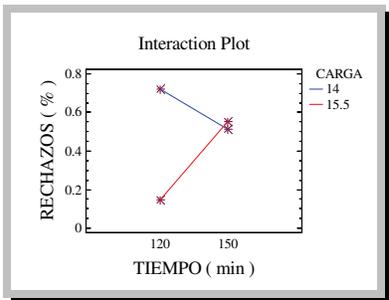


Figura 21.- Interacción tiempo-carga vs rechazos pulpa kraft.

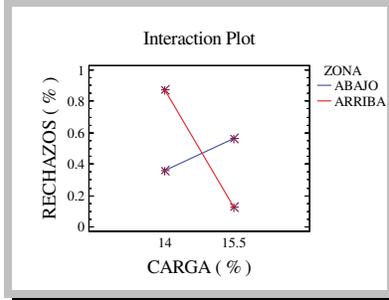


Figura 22.- Interacción zona-carga vs rechazos pulpa kraft .

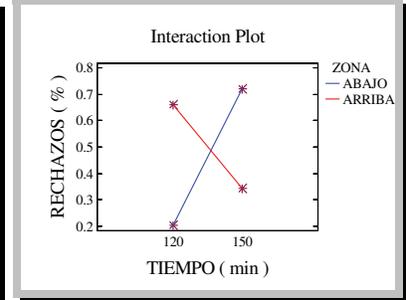


Figura 23.- Interacción tiempo-zona vs rechazos pulpa kraft.

La variable tiempo, no presenta efecto estadístico sobre los rechazos lo podemos ver en la tabla 34 y la figura 24, la tabla 36 y figura 26 muestran el mismo resultado para la variable zona, en el caso de la carga, si se tiene efecto estadístico que se aprecia en la tabla 35 y figura 25. En este caso los rechazos pueden disminuirse, de acuerdo con el análisis estadístico, únicamente con la carga de reactivos ya que para una carga de 14 % se tuvieron rechazos de 0.61 % y para 15.5 % 0.31 %.

Tabla 34.- Prueba de rangos múltiples para los rechazos por tiempo pulpa kraft.

Multiple Range Tests for RECHAZOS by TIEMPO			

Method: 95.0 percent LSD			
TIEMPO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

120	8	0.4325	X
150	8	0.5325	X

Contrast	Difference		+/- Limits

120 - 150	-0.1		0.187303

* denotes a statistically significant difference.			

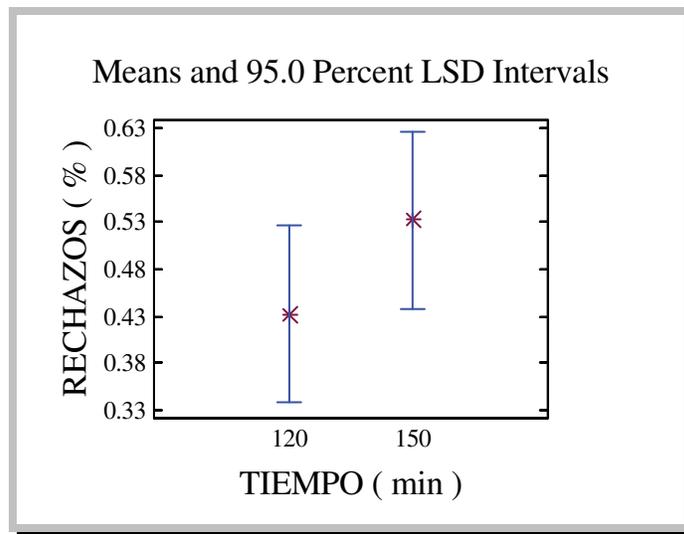


Figura 24.- Gráfica de medias para el tiempo sobre rechazos pulpa kraft.

Tabla 35.- Prueba de rangos múltiples de rechazos por carga pulpa kraft.

Multiple Range Tests for RECHAZOS by CARGA			

Method: 95.0 percent LSD			
CARGA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

15.5	8	0.3475	X
14	8	0.6175	X

Contrast	Difference		+/- Limits

14 - 15.5	*0.27		0.187303

* denotes a statistically significant difference.			

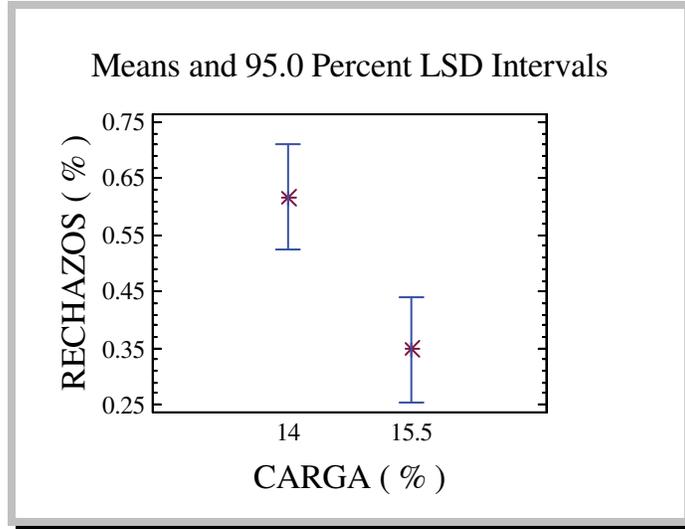


Figura 25.- Gráfica de medias para los rechazos por carga pupa kraft.

Tabla 36.- Prueba de rangos múltiples para los rechazos por zona pulpa kraft.

Multiple Range Tests for RECHAZOS by ZONA			
Method: 95.0 percent LSD			
ZONA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
ABAJO	8	0.4625	X
ARRIBA	8	0.5025	X
Contrast	Difference		+/- Limits
ABAJO - ARRIBA	-0.04		0.187303

* denotes a statistically significant difference.

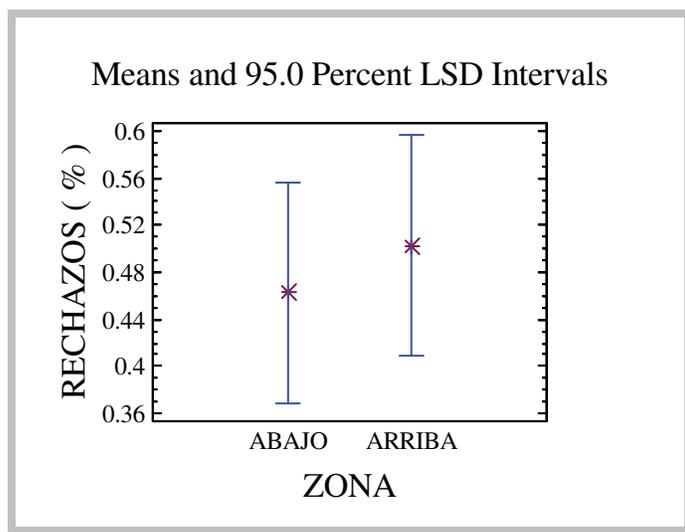


Figura 26.- Gráfica de medias para rechazos por zona pulpa kraft.

NUMERO DE KAPPA

En el análisis de varianza, ANOVA, correspondiente al número de Kappa mostrado en la tabla 37, se encuentran estadísticamente significativas los tres variables, tiempo, carga y zona sobre el número de kappa, la combinación de variables carga-zona es la única que tiene un nivel de significancia menor a 0.05.

Tabla 37.- ANOVA para kappa pulpa kraft.

Analysis of Variance for KAPPA - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:TIEMPO	44.5556	1	44.5556	58.03	0.0000
B:CARGA	5.88063	1	5.88063	7.66	0.0218
C:ZONA	26.7806	1	26.7806	34.88	0.0002
INTERACTIONS					
AB	0.105625	1	0.105625	0.14	0.7193
AC	1.38062	1	1.38062	1.80	0.2128
BC	35.1056	1	35.1056	45.72	0.0001
RESIDUAL	6.91063	9	0.767847		
TOTAL (CORRECTED)	120.719	15			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

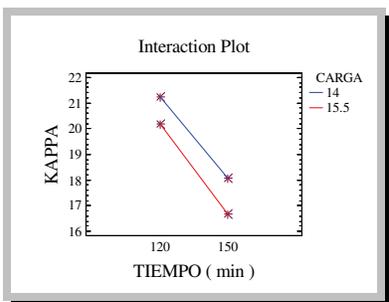


Figura 27.- Interacción tiempo-carga vs kappa pulpa kraft.

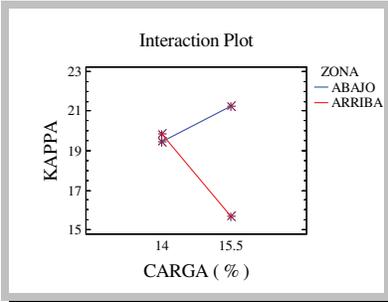


Figura 28.- Interacción zona-carga vs kappa pulpa kraft.

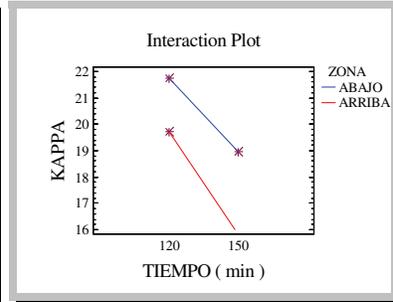


Figura 29.- Interacción tiempo-zona vs kappa pulpa kraft.

En la figura 27, se puede apreciar la interacción entre tiempo-carga y número de kappa y no se tiene efecto de esta interacción sobre la variable de respuesta, en cambio zona-carga vs número de kappa que se encuentran en la figura 28, si presenta efecto sobre número de kappa y la interacción tiempo-zona vs número de kappa mostrada en la figura 29 no tiene efecto significativo.

Tabla 38.- Prueba de rangos múltiples para kappa por tiempo pulpa kraft.

Multiple Range Tests for KAPPA by TIEMPO			
Method: 95.0 percent LSD			
TIEMPO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
150	8	17.3875	X
120	8	20.725	X
Contrast	Difference		+/- Limits
120 - 150	*3.3375		0.991131

* denotes a statistically significant difference.

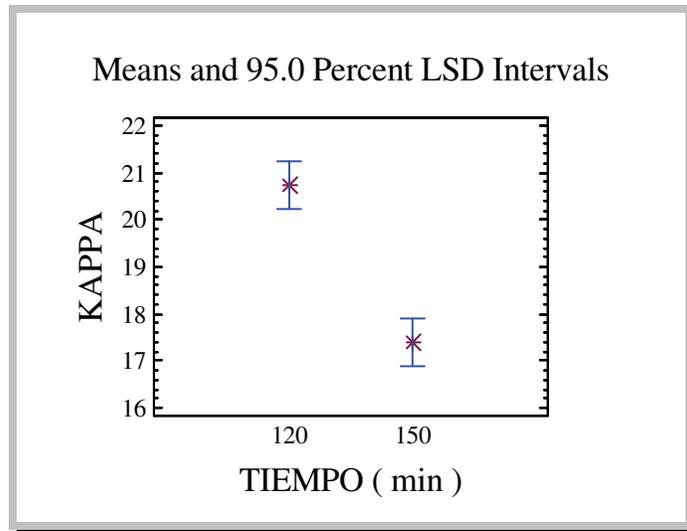


Figura 30.- Gráfica de medias para el número de kappa por tiempo pulpa kraft.

La tabla 38, muestra que para un valor de tiempo igual al 120 min, se tiene un número de kappa de 20 y, a 150 min, el valor es de 17, la figura 30, apoya el hecho de que es importante el tiempo de la cocción para la deslignificación, mientras el tiempo es mayor se tiene una separación de lignina mayor del material celulósico (Casey 1990). La carga de reactivos analizada en la tabla 39, indica que si se modifica el valor de esta variable, se tendrá una afección en el número de kappa, la figura 31 así lo indica también, y es que, para cuando la carga toma su mayor valor la deslignificación es más efectiva y viceversa.

Tabla 39.- Prueba de rangos múltiples para kappa por carga pulpa kraft.

Multiple Range Tests for KAPPA by CARGA			

Method: 95.0 percent LSD			
CARGA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

15.5	8	18.45	X
14	8	19.6625	X

Contrast	Difference		+/- Limits

14 - 15.5	*1.2125		0.991131

* denotes a statistically significant difference.			

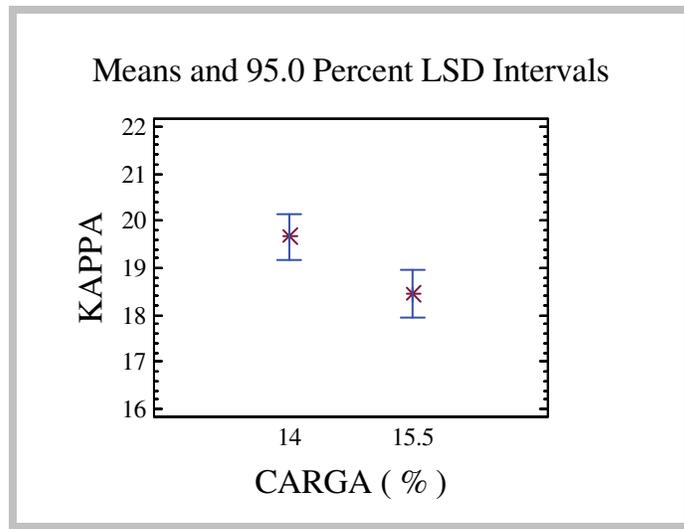


Figura 31.- Gráfica de medias para el número de kappa por carga para pulpa kraft.

Tabla 40.- Prueba de rangos múltiples para kappa por zona pulpa kraft.

Multiple Range Tests for KAPPA by ZONA			

Method: 95.0 percent LSD			
ZONA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

ARRIBA	8	17.7625	X
ABAJO	8	20.35	X

Contrast	Difference		+/- Limits

ABAJO - ARRIBA	*2.5875		0.991131

* denotes a statistically significant difference.			

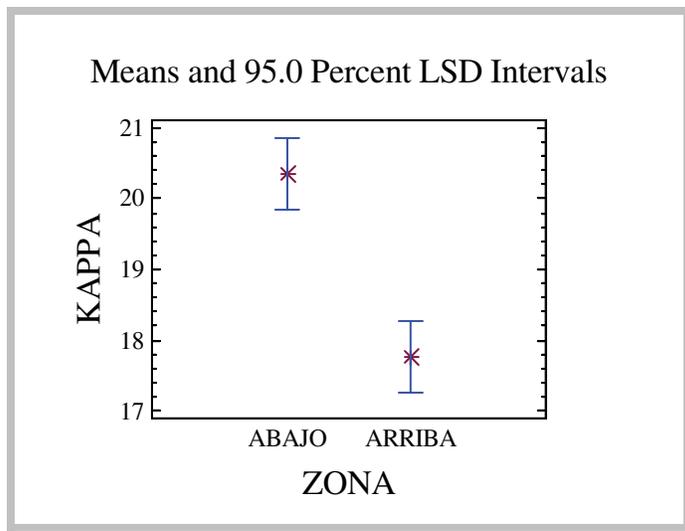


Figura 32.- Gráfica de medias para el número de kappa por zona pulpa kraft.

La zona de ubicación del material de cocción en el árbol, si tiene influencia en los resultados de número de kappa, la tabla 40 y la figura 32, muestran que en la zona de arriba se tiene mejor número de kappa que en la zona de abajo considerando que las demás variables presentes en esta investigación se mantuvieron constantes, esto pudiera explicarse al atribuir que en la zona de abajo el material tiene más edad que en la zona superior.

En la segunda etapa de cocción del proceso kraft, se empleó un diseño experimental 2^k , los resultados se encuentran a continuación.

RENDIMIENTO

Tabla 41.- ANOVA para rendimiento segunda etapa de cocción kraft.

Analysis of Variance for RENDIMIENTO					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TIEMPO	2.08333	1	2.08333	0.15	0.7101
B:CARGA	0.48	1	0.48	0.04	0.8577
AB	0.963333	1	0.963333	0.07	0.7998
blocks	13.605	2	6.8025	0.50	0.6318
Total error	82.2683	6	13.7114		

Total (corr.)	99.4	11			
R-squared = 17.2351 percent					
R-squared (adjusted for d.f.) = 0.0 percent					

La tabla 41, presenta el análisis de varianza ANOVA y de acuerdo con el nivel de significancia preestablecido de 0.05, ninguna de las variables es estadísticamente responsable de los valores de rendimiento.

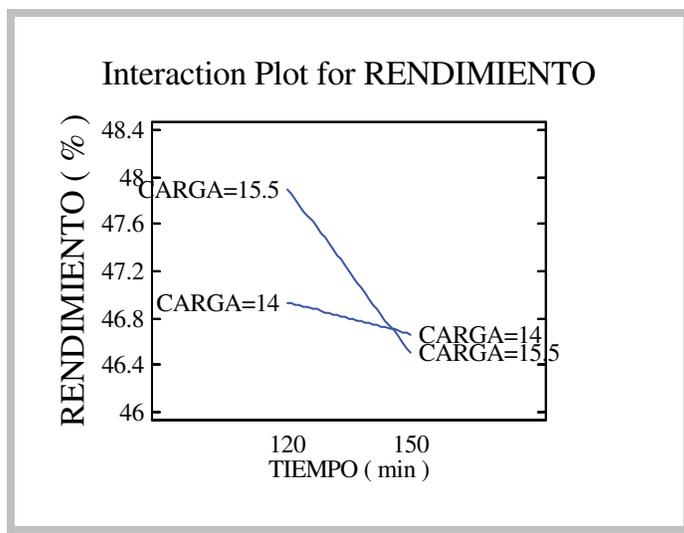


Figura 33.- Interacción tiempo-carga sobre rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción.

Ahora bien, en la figura 33 se presenta la interacción tiempo-carga con rendimiento, el rendimiento mayor se obtiene cuando se realiza la cocción con un tiempo de 120 min, y una carga de 15.5 % de reactivos ya que presenta un valor de 47.9 % y un valor mínimo se obtiene cuando la carga es de 15.5 % y 150 min, esto es apoyado con el

hecho de que a mayor tiempo y mayor carga de reactivos se degrada el material celulósico (Casey 1990).

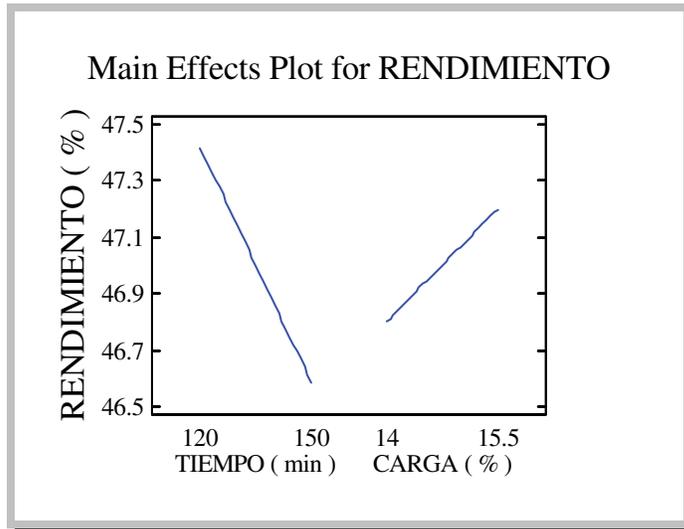


Figura 34.- Principales efectos de tiempo-carga sobre rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción.

En la figura 34, se tienen los principales efectos de tiempo-carga sobre rendimiento y es muy notorio el hecho de que en este caso, el rendimiento disminuye drásticamente al momento de incrementar el tiempo, para carga de reactivos se observa que se elimina mayor cantidad de lignina.

El análisis de regresión aplicado, arroja una ecuación que define el RENDIMIENTO en función de tiempo y carga, la cual se encuentra en la tabla 42, para esta, el coeficiente de correlación R^2 tiene un valor de 17.2 %, un valor aceptable es del 70 %, en este caso lo que indica es que solo el 17.2 % del resultado en el rendimiento es atribuible a los factores carga y tiempo, esto es apoyado por los resultados de la ANOVA (tabla 41).

Tabla 42.- Análisis de regresión para rendimiento segunda etapa de cocción kraft.

```

Regression coeffs. for RENDIMIENTO
-----
constant = -3.33333
A:TIEMPO = 0.343704
B:CARGA = 3.66667
AB = -0.0251852
-----

The StatAdvisor
-----

This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

RENDIMIENTO = -3.33333 + 0.343704*TIEMPO + 3.66667*CARGA -
0.0251852*TIEMPO*CARGA
    
```

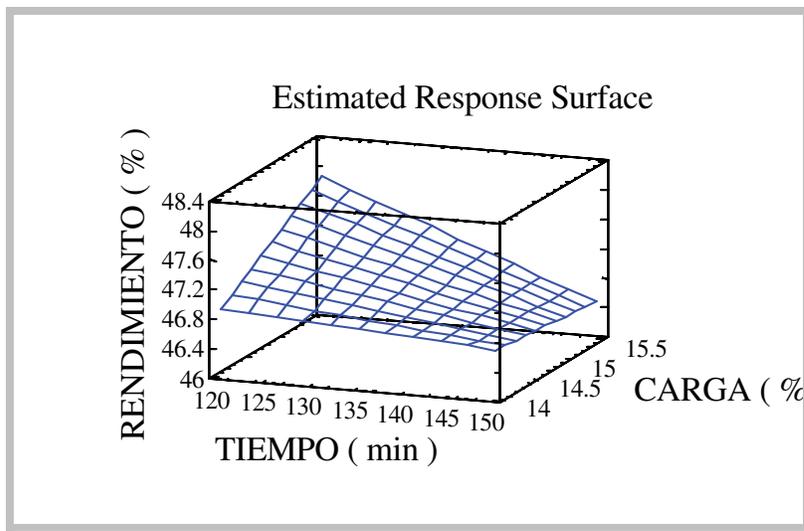


Figura 35.- Gráfica de superficie de respuesta del modelo para rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción.

En la figura 35 y tabla 43, se encuentran los valores de las variables que maximizan la respuesta rendimiento, siendo éstos de 120 min para el tiempo y 15.5 % para la carga de reactivos, obteniendo un rendimiento con valor de 47.9 %.

Tabla 43.- Optimización de variable de respuesta rendimiento pulpa kraft segunda etapa de cocción.

```

Optimize Response
-----
Goal: maximize RENDIMIENTO

Optimum value = 47.9

Factor           Low           High           Optimum
-----
TIEMPO           120.0         150.0         120.0
CARGA            14.0          15.5          15.5
  
```

RECHAZOS

Al momento de analizar estadísticamente los rechazos, se encuentra en la tabla 44, que para carga e interacción tiempo-carga si se encuentran resultados inferiores a 0.05 de p Value.

Tabla 44.- ANOVA para rechazos segunda etapa de cocción kraft.

Analysis of Variance for RECHAZOS					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TIEMPO	0.00333333	1	0.00333333	0.12	0.7396
B:CARGA	0.213333	1	0.213333	7.76	0.0318
AB	0.403333	1	0.403333	14.67	0.0087
blocks	0.221667	2	0.110833	4.03	0.0777
Total error	0.165	6	0.0275		

Total (corr.)	1.00667	11			
R-squared = 83.6093 percent					
R-squared (adjusted for d.f.) = 77.4627 percent					

En la interacción de tiempo-carga para rechazos, se obtienen los menores valores para una carga de 15.5 % y tiempo de 120 min, la literatura comenta que en la medida que la carga de reactivos se incremente, se asegura una mejor cocción (Casey 1990), lo que se ve reflejado en la disminución de rechazos tal como sucede en este caso.

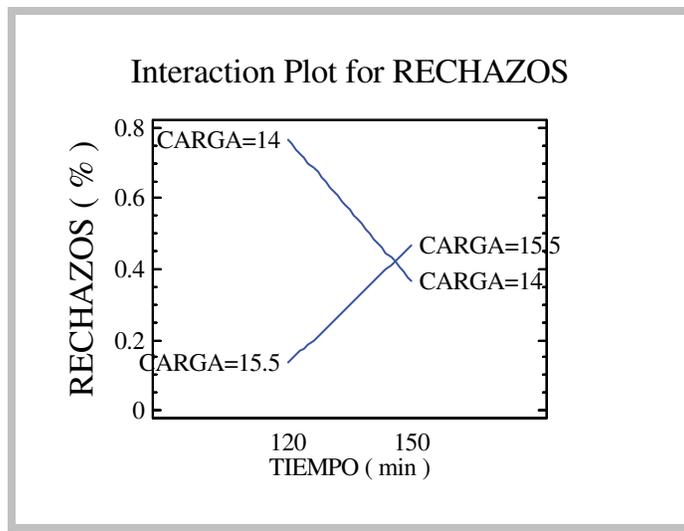


Figura 36.- Gráfica de interacción tiempo – carga vs rechazos segunda etapa de cocción pulpa kraft.

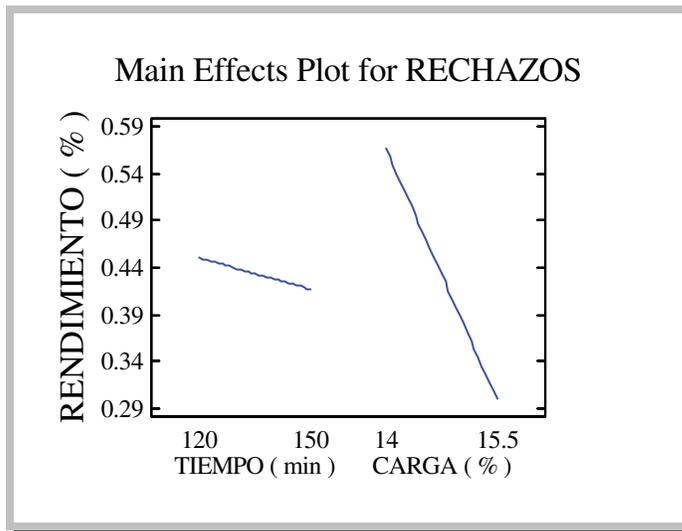


Figura 37.- Efecto de tiempo y carga sobre rechazos segunda etapa de cocción kraft.

En este caso, la ecuación obtenida del análisis se presenta en la tabla 45, el coeficiente de correlación es de 83.7, es un valor aceptable ya que podemos interpretar que el 83.7 % de el valor de la variable de respuesta rechazos es atribuible a las variables carga y tiempo.

Tabla 45.- Análisis de regresión para rechazos segunda etapa de cocción kraft.

```

Regression coeffs. for RECHAZOS
-----
constant = 35.6556
A:TIEMPO = -0.241481
B:CARGA = -2.37778
AB = 0.0162963
-----

The StatAdvisor
-----
This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

RECHAZOS = 35.6556 - 0.241481*TIEMPO - 2.37778*CARGA +
0.0162963*TIEMPO*CARGA

```

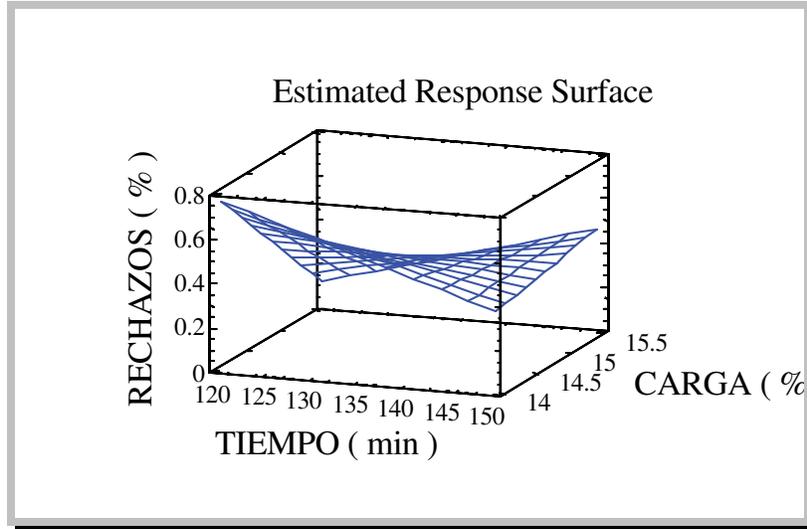


Figura 38.- Gráfica de superficie de respuesta de la variable rechazos segunda etapa de cocción kraft.

Tabla 46.- Optimización de la variable rechazos segunda etapa de cocción kraft.

```

Optimize Response
-----
Goal: minimize RECHAZOS

Optimum value = 0.133333

Factor           Low           High           Optimum
-----
TIEMPO           120.0         150.0         120.0
CARGA             14.0          15.5          15.5
  
```

La gráfica de superficie de respuesta (figura 38) en conjunto con la tabla 46, muestran los valores a los cuales se minimizan los rechazos, que para este caso en particular, nos daría el proceso más eficiente, y son tiempo de 120 min y 15.5 % de carga de reactivos.

NUMERO DE KAPPA

Para el número de kappa, la tabla 47 que contiene el análisis de varianza ANOVA y la figura 39, que muestra la gráfica de interacciones, indican que existe significancia menor a 0.05 solamente para el tiempo, el cual cuando toma valores mayores, minimiza a carga de 15.5 % de reactivos el número de kappa.

Tabla 47.- ANOVA para número de kappa segunda etapa de cocción kraft.

Analysis of Variance for KAPPA					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:TIEMPO	20.0208	1	20.0208	7.16	0.0368
B:CARGA	13.0208	1	13.0208	4.66	0.0743
AB	1.54083	1	1.54083	0.55	0.4860
blocks	1.22	2	0.61	0.22	0.8101
Total error	16.78	6	2.79667		
Total (corr.)	52.5825	11			

R-squared = 68.0882 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 56.1213 percent

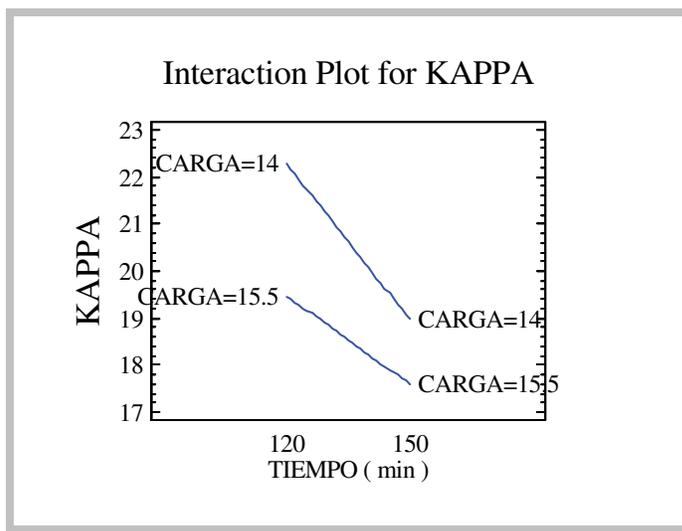


Figura 39.- Interacción tiempo – carga vs número de kappa segunda etapa de cocción kraft.

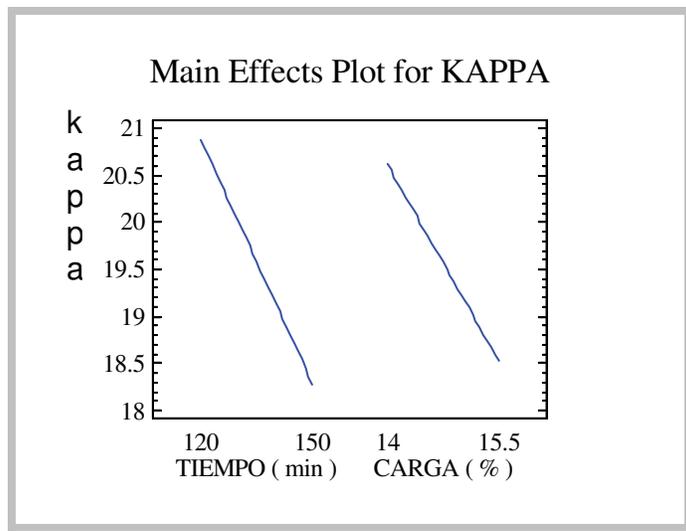


Figura 40.- Efectos de tiempo y carga sobre número de kappa.

Tabla 48.- Análisis de regresión para el número de kappa segunda etapa de cocción kraft.

```

Regression coeffs. for KAPPA
-----
constant = 115.111
A:TIEMPO = -0.555926
B:CARGA = -5.68889
AB = 0.0318519
-----

The StatAdvisor
-----

This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

KAPPA = 115.111 - 0.555926*TIEMPO - 5.68889*CARGA +
0.0318519*TIEMPO*CARGA

```

Para este caso, la figura 40, muestra que los principales efectos en el número de kappa, se presenta en el momento que el tiempo se incrementa y al momento de aumentar la carga de reactivos, la ecuación de regresión obtenida y que se muestra en la tabla 48, tiene un coeficiente de correlación de 68 (tabla 47), muy cercano al 70 que es el valor fijado para establecer una considerable aportación en el resultado de la variable de respuesta de las variables independientes.

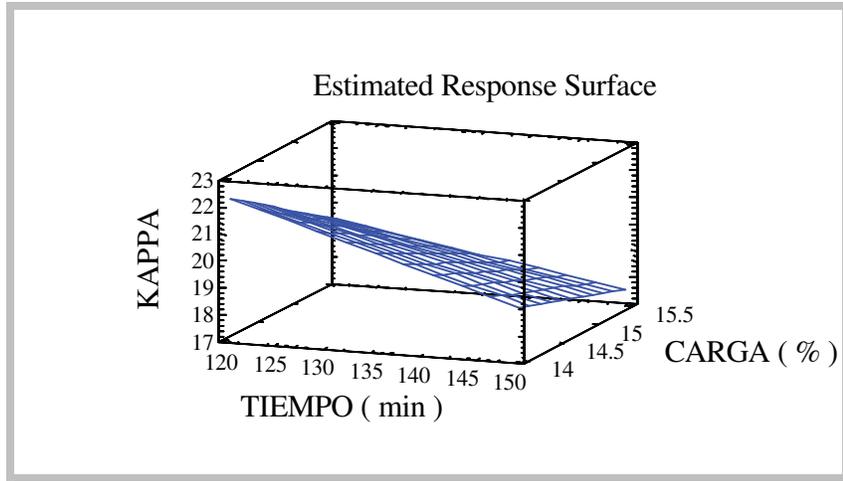


Figura 41.- Gráfica de superficie de respuesta tiempo – carga vs número de kappa segunda etapa de cocción kraft.

Tabla 49- Optimización de la variable número de kappa en la segunda etapa de cocción kraft.

Optimize Response			

Goal: minimize KAPPA			
Optimum value = 17.6			
Factor	Low	High	Optimum

TIEMPO	120.0	150.0	150.0
CARGA	14.0	15.5	15.5

En este caso el número de kappa presenta los valores óptimos al ser minimizado, leyendo en la gráfica de superficie de respuesta figura 41 se puede leer que los valores de 15.5 % de reactivos, 150 min en tiempo arrojan un 17.8 de número de kappa, esto es apoyado por los resultados de la tabla 49.

En el pulpeo kraft durante la primera etapa de cocción, el rendimiento se maximizó (49.2%) a 120 min, 14% de reactivos y en la zona de “arriba”; para la segunda etapa de cocción el rendimiento mayor fue de 47.9% a 120 min y 15.5% de reactivos, ambas etapas a 160°C, estos datos de rendimiento, son mayores que los reportado por: Villalvazo(1973), rendimiento 31.5% para *E. gigantea* a 300 min de cocción, 165°C y 20% de reactivos, Chávez(1996) reporta 42.8% de rendimiento en *E. globulus labell* a 90 min con 19% de reactivos y 175°C, Fernández(1998), 46.7% para *E globulus ssp* con 90 min de cocción y 20.5% de reactivos, temperatura de 170°C, Ortega et all(2005) 35.1% para *E. camaldulensis* (150 min y 15.5% de reactivos) a 160°C y Gabriel et all(2005) 39.5% para *E. saligna* con 160 °C, 150 min y 15.5 % de reactivos. Se encuentran en literatura rendimientos de 52% para *E. dunni* (Fernández 1998) a 90 min, 19.6% de reactivos y 170°C y Patt et al(2005) reporta que en *E. globulus* obtiene 54.6% de rendimiento pero no indica las condiciones de cocción.

4.1.2.- Pulpeo sosa

Los resultados de la etapa de cocción utilizando el proceso a la sosa se presentan a continuación.

RENDIMIENTO

Tabla 50.- ANOVA para rendimiento proceso de cocción sosa.

Analysis of Variance for RENDIMIENTO - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:CARGA	534.125	2	267.063	2165.37	0.0000
B:TIEMPO	2.43	1	2.43	19.70	0.0044
INTERACTIONS					
AB	16.305	2	8.1525	66.10	0.0001
RESIDUAL	0.74	6	0.123333		
TOTAL (CORRECTED)	553.6	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Al analizar la influencia de las variables independientes carga de reactivos y tiempo de cocción sobre el rendimiento, la tabla 50 que presenta el análisis de varianza (ANOVA), indica que ambas variables tienen influencia en la variable de respuesta desde el punto de vista estadístico, la figura 42 que expone la interacción de carga-tiempo sobre rendimiento, apoya los resultados de la tabla 50.

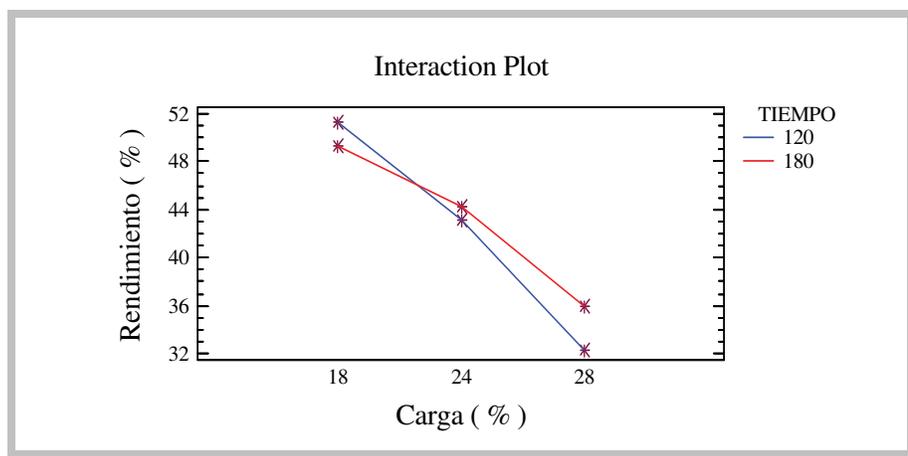


Figura 42.- Interacción carga-tiempo vs rendimiento cocción a la sosa.

En la prueba de rangos múltiples para carga mostrados en la tabla 51, indica que para cada valor de carga, 28, 24 y 18 % se tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento, la figura 43, muestra los valores de medias para la variable carga,

encontrando en todos los casos la interacción sobre la variable de respuesta rendimiento, se aprecia que a valores mayores de carga el rendimiento tiende a disminuir y viceversa, ya que para 18 % de carga el rendimiento es de 50.3 % y para 24 y 28 % de carga, el rendimiento es de 43.7 y 34.1 % respectivamente, este resultado se apoya con lo que se menciona en la literatura, ya que el rendimiento resulta máximo hasta cierto nivel de reactivos y en adelante lo que se logra únicamente es degradar el material celulósico (Casey 1990).

Tabla 51.- Prueba de rangos múltiples para rendimiento por carga pulpa sosa.

Multiple Range Tests for RENDIMIENTO by CARGA			
Method: 95.0 percent LSD			
CARGA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
28	4	34.075	X
24	4	43.7	X
18	4	50.325	X
Contrast	Difference		+/- Limits
18 - 24	*6.625		0.607638
18 - 28	*16.25		0.607638
24 - 28	*9.625		0.607638

* denotes a statistically significant difference.

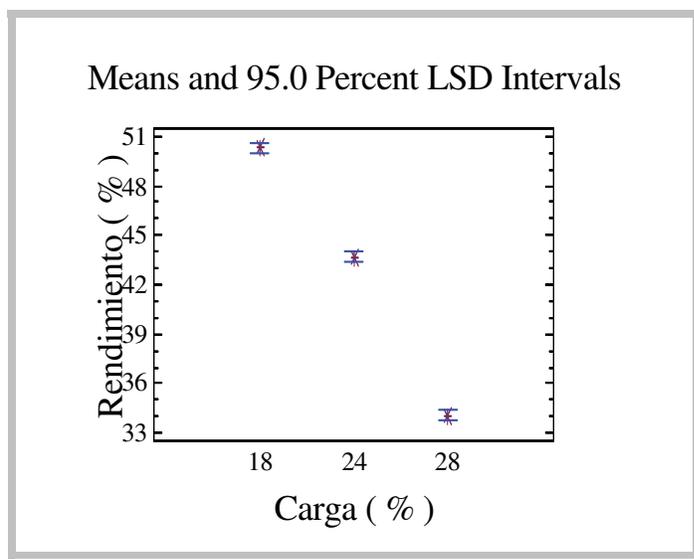


Figura 43.- Gráfica de medias para el rendimiento a diferentes valores de carga cocción a la sosa.

Para la variable independiente tiempo, la cual toma dos valores 120 y 180 min, la prueba de rangos múltiples de la tabla 52, indica que si son significativos estadísticamente, la figura 44 que es la gráfica de medias también apoya el análisis anterior.

Tabla 52.- Prueba de rangos múltiples para rendimiento por tiempo pulpa sosa.

Multiple Range Tests for RENDIMIENTO by TIEMPO			
Method: 95.0 percent LSD			
TIEMPO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
120	6	42.25	X
180	6	43.15	X
Contrast		Difference	+/- Limits
120 - 180		*-0.9	0.496134

* denotes a statistically significant difference.

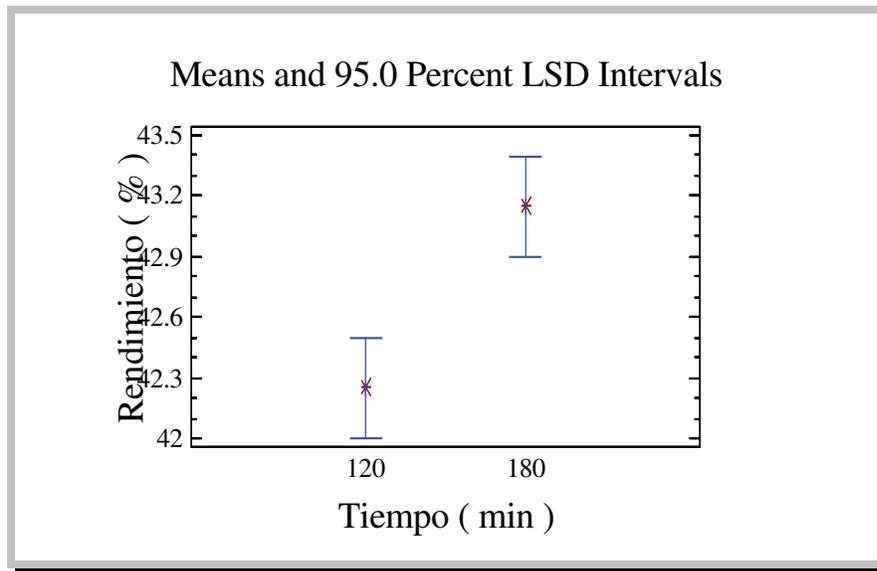


Figura 44.- Gráfica de medias para rendimiento vs tiempo cocción a la sosa.

Los valores de tiempo de 120 y 180 min, tienen asociados los rendimientos de 42.3 y 43.1 % respectivamente, indicando que a mayor tiempo existe mayor posibilidad de deslignificación, esto se explica por que se tienen mayor oportunidad de que la reacción se verifique cabalmente (Casey 1990), entonces si se quiere incrementar el rendimiento los tiempos de cocción deberán ser mayores, pero, considerando que se manipulan variables tiempo y carga, se puede encontrar la combinación de valores idóneos.

NUMERO DE KAPPA

Para el número de kappa, se tiene la tabla 53 con el análisis de varianza (ANOVA) y en la columna de p Value se encuentran estadísticamente significativos los factores tiempo y carga, el efecto de su interacción se muestra en la figura 45 y para minimizar el valor de kappa se tiene la opción de 180 min y 28 % de reactivos.

Tabla 53.- ANOVA para el número de kappa cocción a la sosa.

Analysis of Variance for KAPPA - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:CARGA	2894.42	2	1447.21	9867.35	0.0000
B:TIEMPO	13.6533	1	13.6533	93.09	0.0001
INTERACTIONS					
AB	5.32167	2	2.66083	18.14	0.0029
RESIDUAL	0.88	6	0.146667		
TOTAL (CORRECTED)	2914.28	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

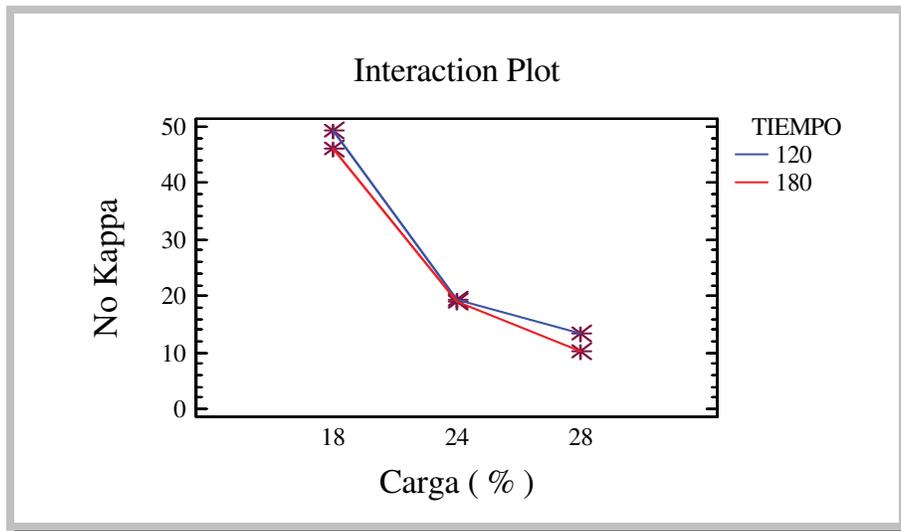


Figura 45.- Gráfica de interacción carga – tiempo vs número de kappa cocción a la sosa.

Tabla 54.- Prueba de rangos múltiples para número de kappa por carga pulpa sosa.

Multiple Range Tests for KAPPA by CARGA			
Method: 95.0 percent LSD			
CARGA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
28	4	11.8	X
24	4	19.075	X
18	4	47.775	X

Contrast	Difference	+/- Limits
18 - 24	*28.7	0.662629
18 - 28	*35.975	0.662629
24 - 28	*7.275	0.662629

* denotes a statistically significant difference.

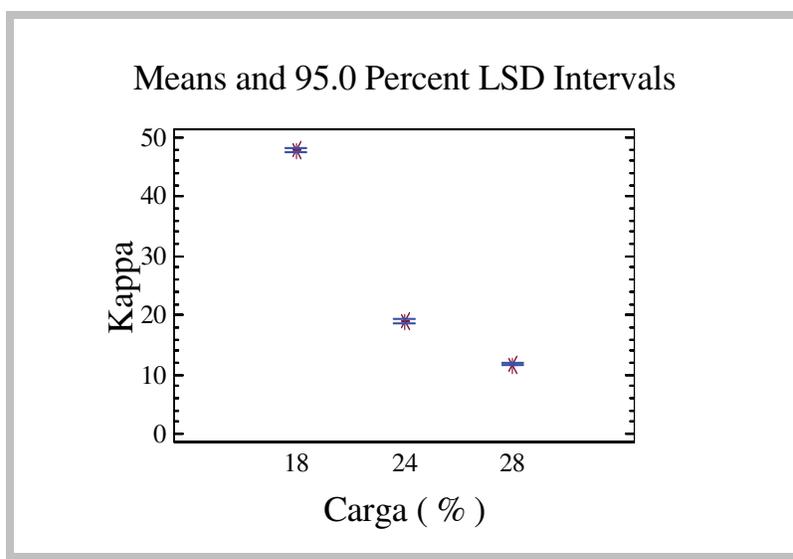


Figura 46.- Gráfica de medias para número de kappa vs carga cocción a la sosa.

La prueba de rangos múltiples para la variable carga mostrada en la tabla 54 y la grafica de medias de la figura 46, presenta el hecho de que a mayores cargas, en este caso de 24 y 28 %, los niveles en el número de kappa son menores 19 y 11.8 %, cerrando el rango para encontrar mejores niveles de deslignificación.

Tabla 55.- Prueba de rangos múltiples para número de kappa por tiempo cocción a la sosa.

Multiple Range Tests for KAPPA by TIEMPO			

Method: 95.0 percent LSD			
TIEMPO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups

180	6	25.15	X
120	6	27.2833	X

Contrast	Difference		+/- Limits

120 - 180	*2.13333		0.541034

* denotes a statistically significant difference.			

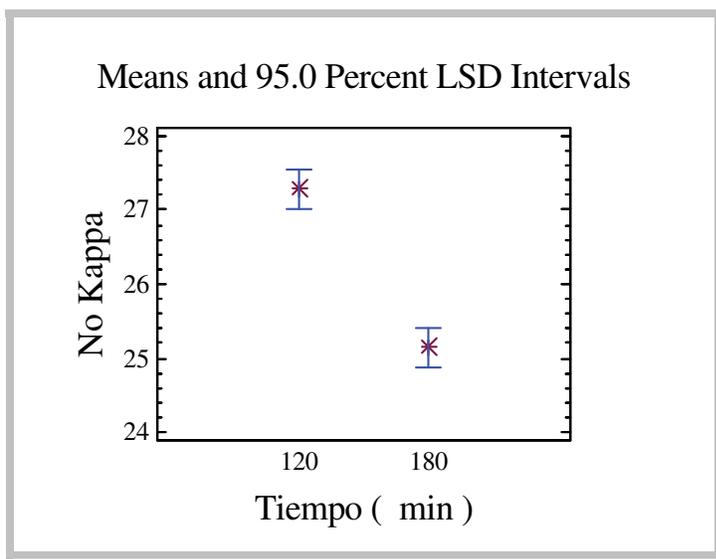


Figura 47.- Gráfica de medias para número de kappa vs tiempo cocción a la sosa.

Con respecto al tiempo, la tabla 55 y figura 47, muestran lo interpretado en la ANOVA donde se expresa que la variable tiempo es estadísticamente significativa, tiempos mayores en este caso de 180 min, tienen valores de kappa de 25, mientras que con valores de 120 min el número de kappa se incrementa a 27.2.

RECHAZOS

Tabla 56.- ANOVA para rechazos cocción a la sosa.

Analysis of Variance for RECHAZOS - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:CARGA	0.0816667	2	0.0408333	1.00	0.4219
B:TIEMPO	0.0408333	1	0.0408333	1.00	0.3559
INTERACTIONS					
AB	0.0816667	2	0.0408333	1.00	0.4219
RESIDUAL	0.245	6	0.0408333		

TOTAL (CORRECTED)	0.449167	11			

All F-ratios are based on the residual mean square error.					

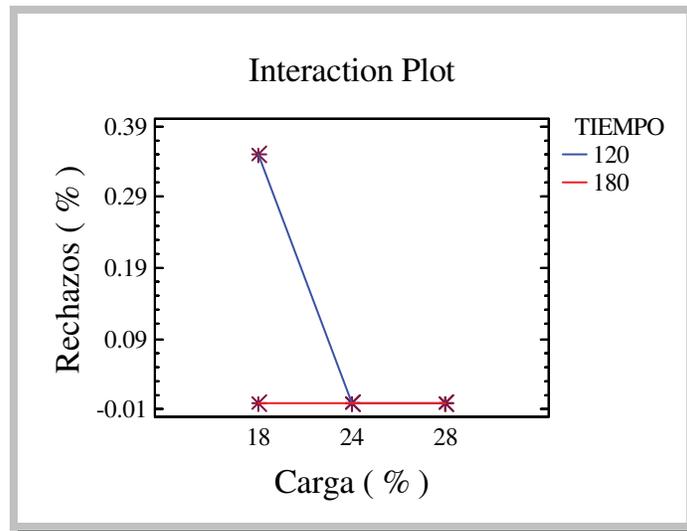


Figura 48.- Gráfica de interacción carga – tiempo vs rechazos cocción a la sosa.

Tabla 57.- Prueba de rangos múltiples para rechazos por carga cocción a la sosa.

Multiple Range Tests for RECHAZOS by CARGA			
Method: 95.0 percent LSD			
CARGA	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
24	4	0.0	X
28	4	0.0	X
18	4	0.175	X
Contrast		Difference	+/- Limits
18 - 24		0.175	0.349633
18 - 28		0.175	0.349633
24 - 28		0.0	0.349633

* denotes a statistically significant difference.

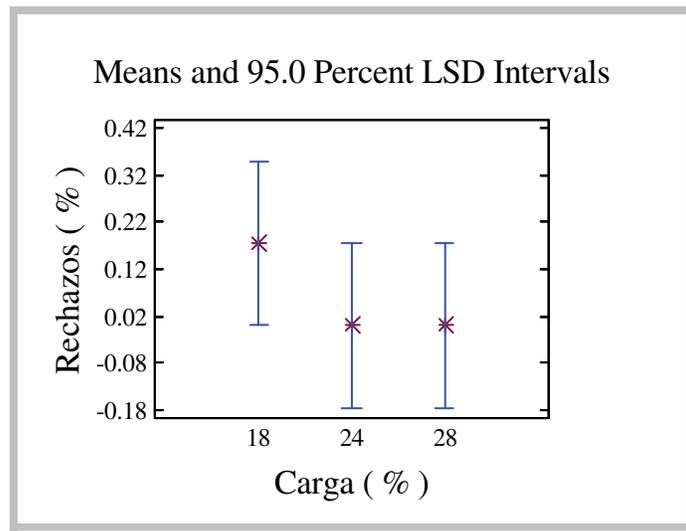


Figura 49.- Gráfica de medias para rechazos vs carga cocción a la sosa.

Tabla 58.- Pruebas de rangos múltiples para rechazos por tiempo cocción a la sosa.

Multiple Range Tests for RECHAZOS by TIEMPO			
Method: 95.0 percent LSD			
TIEMPO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
180	6	0.0	X
120	6	0.116667	X
Contrast		Difference	+/- Limits
120 - 180		0.116667	0.285474

* denotes a statistically significant difference.

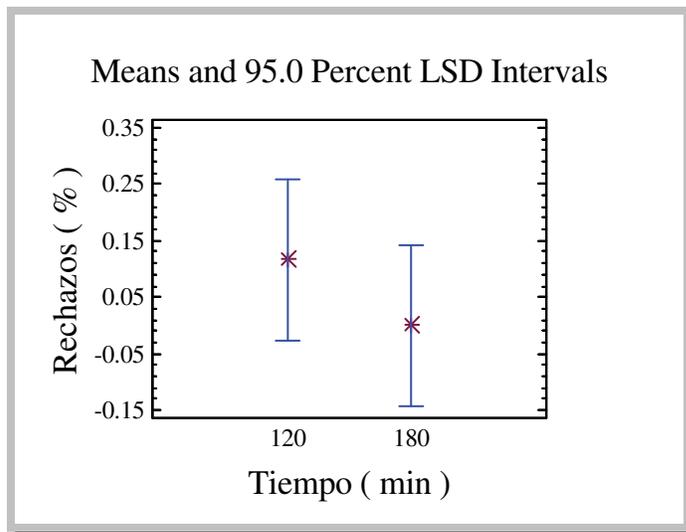


Figura 50.- Gráfica de medias para tiempo vs rechazos cocción a la sosa.

Para la variable rechazos la tabla 56 del ANOVA, indica que no es estadísticamente significativa la influencia de la variable carga y tiempo, la figura 48 que presenta la gráfica de interacción tiempo-carga vs rechazos, apoya lo anterior. La tabla 57 y figura 49 apoyan los resultados del análisis de ANOVA ya que no importa cual sea el valor de la carga para los rangos estudiados, el resultado de los rechazos no se ve afectado y para el factor tiempo la tabla 58 y figura 50, que son la prueba de rangos múltiples y gráfica de medias respectivamente, muestran que es independiente del valor que tome el tiempo el resultado de los rechazos.

En el proceso de cocción a la sosa se reportan rendimientos de 38% (Rodríguez 1971) con un tiempo de 180 min, 15.5% de reactivo y 173°C, el mismo autor también registra 28.57% de rendimiento a 210 minutos, 25% carga de reactivos y 172°C, en ambos casos no se especifica la especie. El rendimiento obtenido en esta investigación fue de 50.3% con 18% de carga, 120 minutos en el tiempo de cocción y 175 °C.

Ahora bien, comparando los resultados obtenidos en las cocciones tanto kraft como a la sosa del *E. citriodora* con los rendimientos reportados referentes a *Quercus conspersa*(Albarrán 2004) que indican un valor de 46.97% a 90 minutos de tiempo cocción, 17% de carga de reactivos y 3 semanas de biotratamiento (hongos de pudrición blanca), podemos concluir que desde el punto de vista de proceso el *Eucalyptus citriodora* es susceptible de ser utilizado en la fabricación de papel al igual que el *Q. conspersa*.

9.2.-Evaluación físico-mecánica de la pulpa kraft y a la sosa

Curva de batido pulpa café kraft

Se muestran en la tabla 59 los resultados de la curva de batido.

Tabla 59.- Resultados curva de batido pulpa café kraft.

Tiempo de refinación	min	0	15	30	45	60
Tiempo de drenado	seg	16	42	44	49	52
° Schopper Riegler	°SR	16	26	33	52	73
Canadian Estándar Freeness	ml	840	740	670	480	270
Gramaje	gr/m2	61.7	62.4	61.9	61.9	62.0
Largo de ruptura	m	1404	4301	7539	9155	9677
Índice de rasgado	mN-m2/g	2.38	9.11	10.8	9.82	9.8
Porosidad Gurley	seg/100 cc	1	4.38	6.57	26.49	110.02
Volumen	cm3/gr	2.81	1.72	1.68	1.59	1.52
Opacidad	%	99.15	97	96.7	94.9	94.6
Blancura	% UFV	25.5	21.9	21.6	20.4	18.7

La figura 51, explica el comportamiento que tiene la drenabilidad de la fibra a diferentes tiempos de refinación, en un inicio parece proporcional el incremento de tiempo con la disminución de drenabilidad, hasta llegar a un punto donde la disminución de la drenabilidad es mayor, aun y cuando el tiempo de refinación sea poco, lo anterior puede explicarse debido al trabajo mecánico que sufre la pulpa al ser refinada se fibrilla y obstruye el paso libre del agua a través de ellas (Casey 1990). Se presenta en la figura 51 la ecuación que describe mejor el comportamiento de los datos, dando como resultado una ecuación de segundo grado y con un coeficiente de correlación de 0.99 siendo este un valor adecuado para poder confiar en ella.

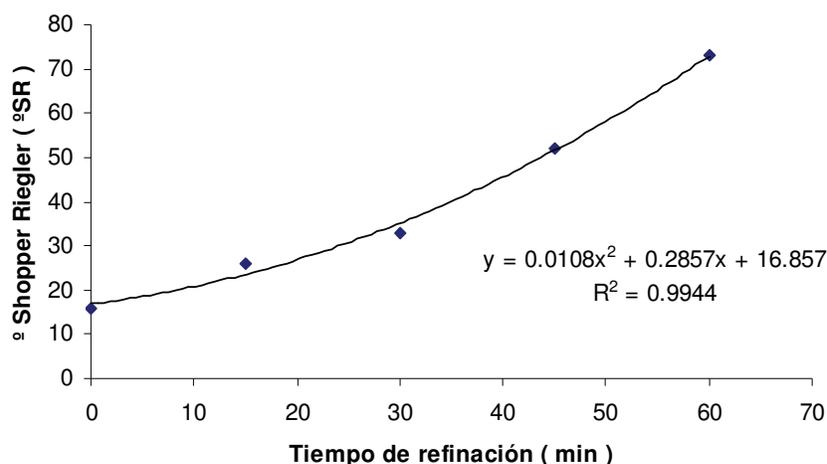


Figura 51.- Comportamiento del drenado pulpa café proceso kraft.

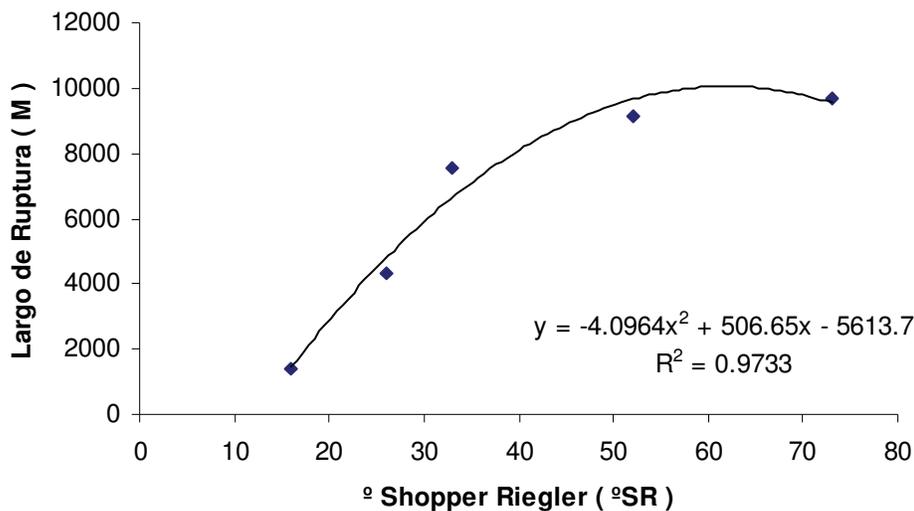


Figura 52.- Comportamiento de largo de ruptura pulpa café proceso kraft.

El largo de ruptura graficado en la figura 52, describe un comportamiento que se explica en la literatura, ya que, conforme incrementa el tiempo de refinado la pulpa se va fibrilando, logrando establecer enlaces entre ellas aumentando con esto la resistencia expresada como largo de ruptura, pero, llega un punto máximo de desarrollo de resistencias y a partir de ahí solamente se degrada la pulpa y se demerita la resistencia lograda anteriormente (Casey 1990). La ecuación que describe la curva tiene un coeficiente de correlación de 0.97 un valor aceptable para tomar como válida dicha ecuación. Lo anterior va directamente relacionado con el comportamiento de índice de rasgado (figura 53) ya que al igual que el largo de ruptura la ecuación que mejor describe el conjunto de datos es una ecuación de segundo grado, en este caso el coeficiente de correlación es de 0.78, representa un valor aceptable logrando interpretar que el 78 % de los resultados en el índice de rasgado son atribuibles al grado de refinación.

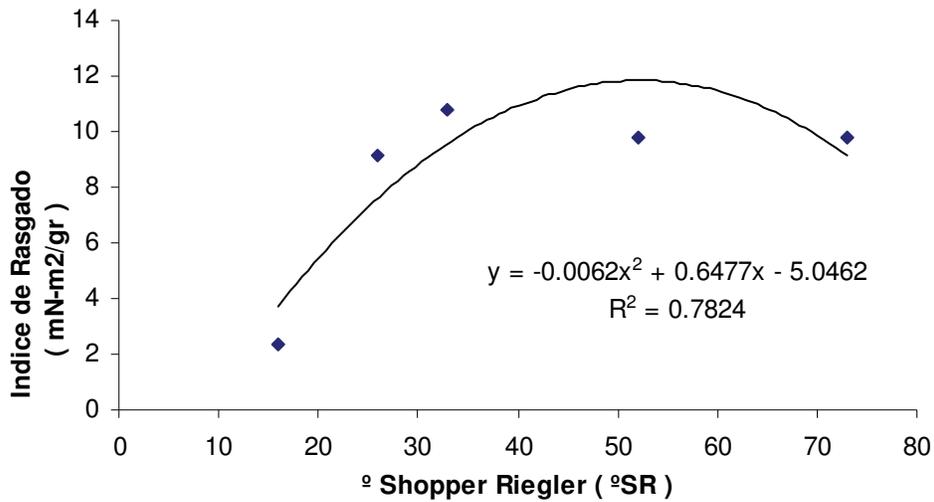


Figura 53.- Comportamiento de índice de rasgado pulpa café proceso kraft.

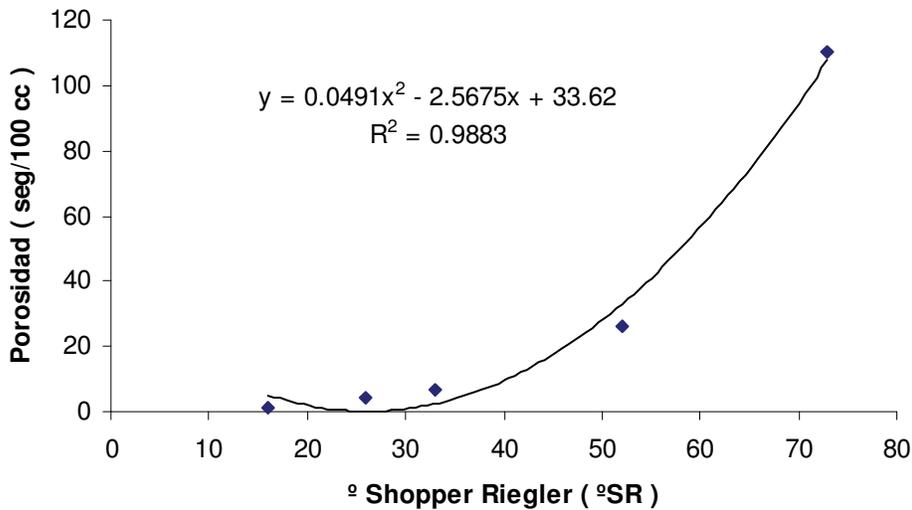


Figura 54.- Comportamiento de porosidad pulpa café proceso kraft.

La porosidad para esta pulpa, es congruente con lo que la literatura reporta (Casey 1991 b) ya que se encuentra que la resistencia del papel al paso del aire, aumenta en la medida que incrementa la fracción sólida del papel, lo anterior se muestra en la figura 54, la ecuación que describe esta gráfica se muestra en la misma figura y tiene un coeficiente de correlación de 0.98, lo cual indica que describe con mucha certeza el comportamiento de los puntos.

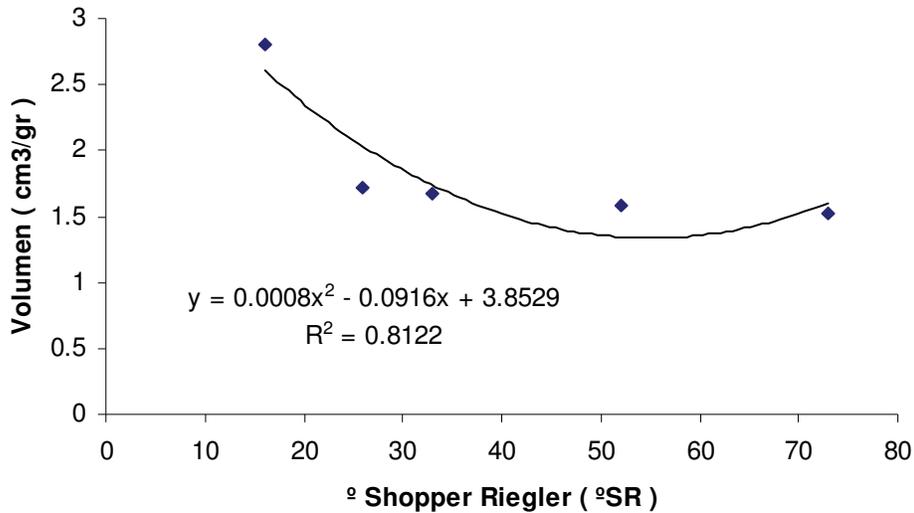


Figura 55.- Comportamiento volumen pulpa café proceso kraft.

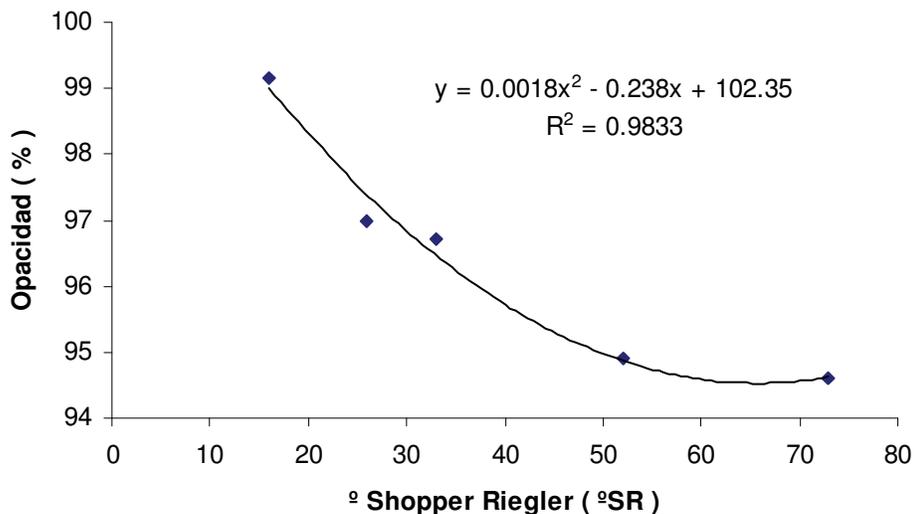


Figura 56.- Comportamiento opacidad pulpa café proceso kraft.

El volumen para el *Eucalyptus citriodora*, figura 55, muestra que a mayor grado de refinación el volumen disminuye, esto, es congruente con la literatura (Casey 1991a), mientras la fibra celulósica se refina más, el espacio existente entre ellas va desapareciendo obteniendo así valores menores en el volumen, el coeficiente de correlación para el modelo matemático que describe mejor la serie de datos, tiene un valor de 0.81 dando validez al modelo. La figura 56 indica como se comporta la opacidad conforme el grado de refinación aumenta la opacidad disminuye, esto puede explicarse ya que la refinación aumenta el área de contacto óptico entre las fibras al aumentar el área de unión entre ellas, razón por la cual la opacidad tiende a disminuir.

La refinación disminuye el grosor de la pared de las fibras, dando origen a que el papel sea más traslúcido, disminuyendo la opacidad. En consecuencia, como el formado en húmedo no aumenta la superficie específica, pero si la unión entre fibras la opacidad disminuye. (Casey 1991 b). La ecuación obtenida para esta gráfica tiene un coeficiente de correlación de 0.98 dato muy aceptable para tomar como válida la ecuación.

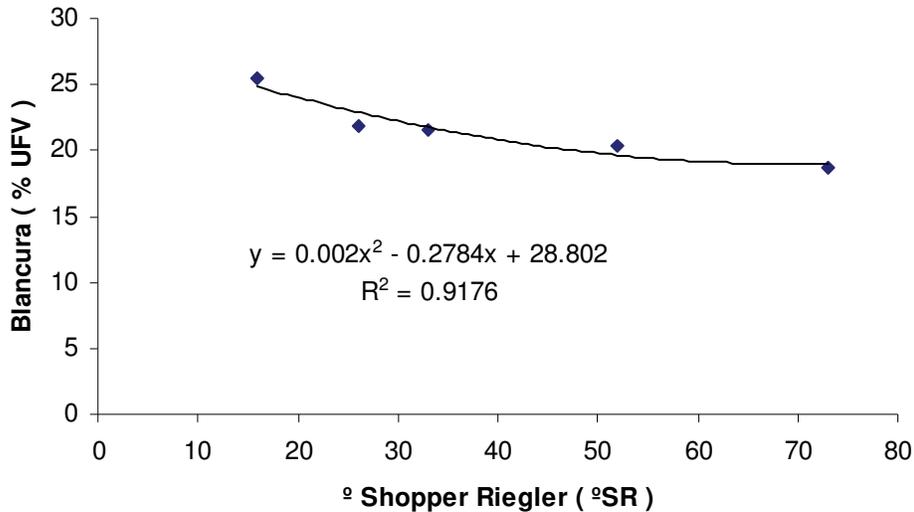


Figura 57.- Comportamiento blancura pulpa café proceso kraft.

La blancura describe una gráfica que se encuentra en la figura 57, este comportamiento coincide con lo reportado en la literatura (Casey 1991b), este dato decae conforme se incrementa la refinación, el coeficiente de correlación de la ecuación presentada en la figura 57 es de 0.91, muy aceptable.

Curva de batido pulpa café sosa

Tabla 60.- Resultados curva de batido pulpa café a la sosa.

Tiempo de refinación	Min	0	10	20	30	40
Tiempo de drenado	Seg	13	44	57	62	67
° Schopper Riegler	°SR	15	38	59	78	80
Canadian Estándar Freeness	Ml	850	620	410	220	200
Gramaje	gr/m2	61.23	61.9	62.9		
Largo de ruptura	M	545	3016	3285		
Índice de rasgado	mN-m2/g	1.12	2.85	2.33		
Porosidad Gurley	Seg/100 cc	1	3.78	8.61		
Volumen	cm3/gr	3.81	2.15	1.66		
Opacidad	%	99.33	98.96	99.35		
Blancura	% UFV	20.9	19.5	19.1		

La tabla 60, muestra los resultados del tratamiento de refinación de la pulpa café obtenida mediante el proceso a la sosa, para los puntos de refinación de 30 y 40 minutos, ya no resultó práctico elaborar hojas, debido a lo anterior los coeficientes de correlación de las ecuaciones que describen el comportamiento de largo de ruptura, índice de rasgado, porosidad, volumen, opacidad y blancura es de 1 ya que sólo se cuenta con 3 datos para cada prueba.

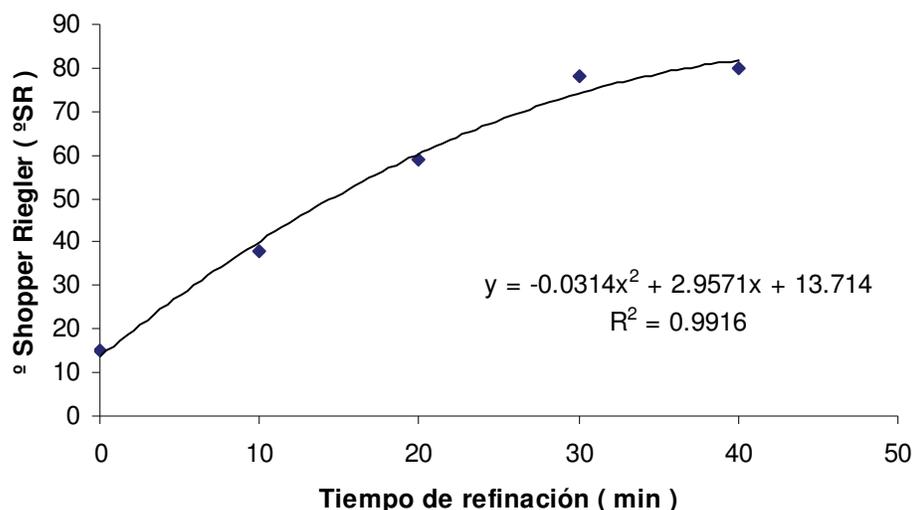


Figura 58.- Comportamiento del drenado pulpa café a la sosa.

El grado de refinación medido como °Shopper Riegler mostrado en la figura 58, tiene un comportamiento acorde con lo reportado en la literatura (Casey 1991b), mientras mayor es el tiempo al que se somete la pulpa celulósica, el drenado es más difícil, esto es apoyado por la ecuación que se presenta en la figura 58, es necesario hacer notar que el coeficiente de correlación es de 0.99, un valor muy aceptable.

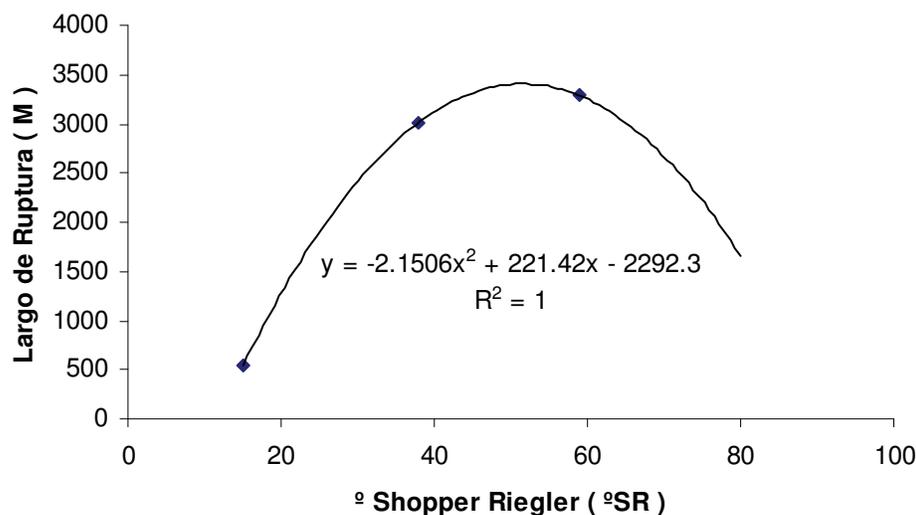


Figura 59.- Comportamiento del largo de ruptura pulpa café a la sosa.

La figura 59, muestra la ecuación que describe el comportamiento del grado de refinación y el largo de ruptura, el comportamiento esta acorde con la literatura (Casey 1991b), esta propiedad desarrolla conforme incrementa el grado de refinación hasta un punto máximo, de ahí en adelante decae.

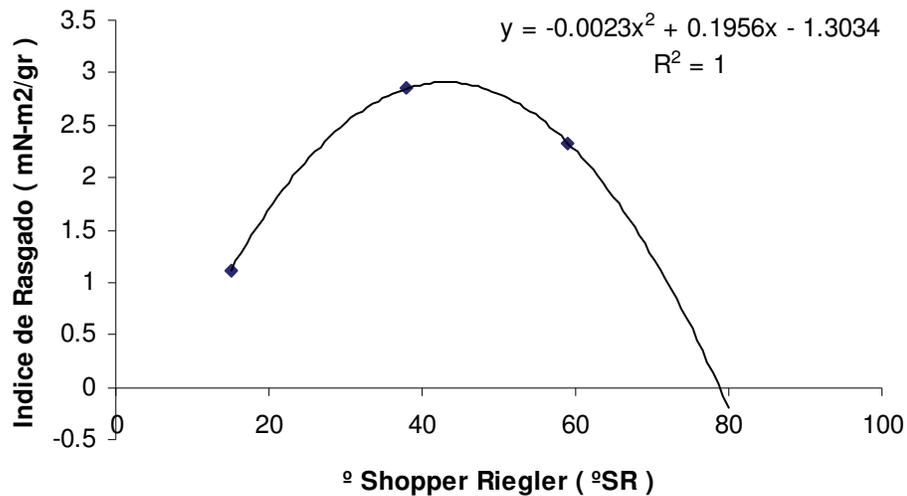


Figura 60.- Comportamiento del índice de rasgado pulpa café a la sosa.

Índice de rasgado (figura 60) es la otra propiedad que presenta un comportamiento similar al largo de ruptura, este comportamiento es debido a que la pulpa se fibrila hasta llegar a dar su máximo en cuanto a enlaces, a partir del punto máximo la pulpa se degrada y en lugar de fibrilar se corta se vuelve más pequeña y el índice de rasgado se demerita.

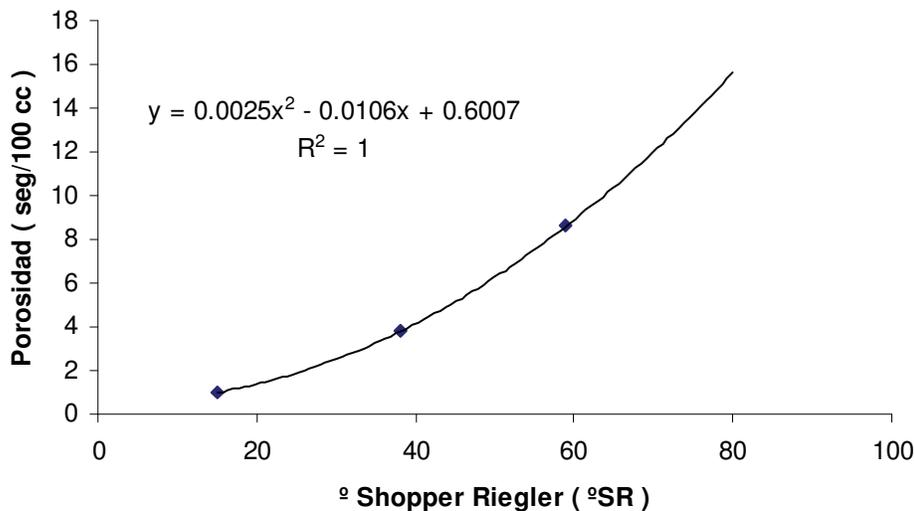


Figura 61.- Comportamiento de porosidad pulpa café a la sosa.

En la literatura se explica que la porosidad decae conforme el grado de refinación aumenta (Casey 1991b) y este es el comportamiento que se observa en la figura 61, la explicación es que a mayor fibrilación menor capacidad para permitir el paso de aire y por lo tanto la porosidad disminuye.

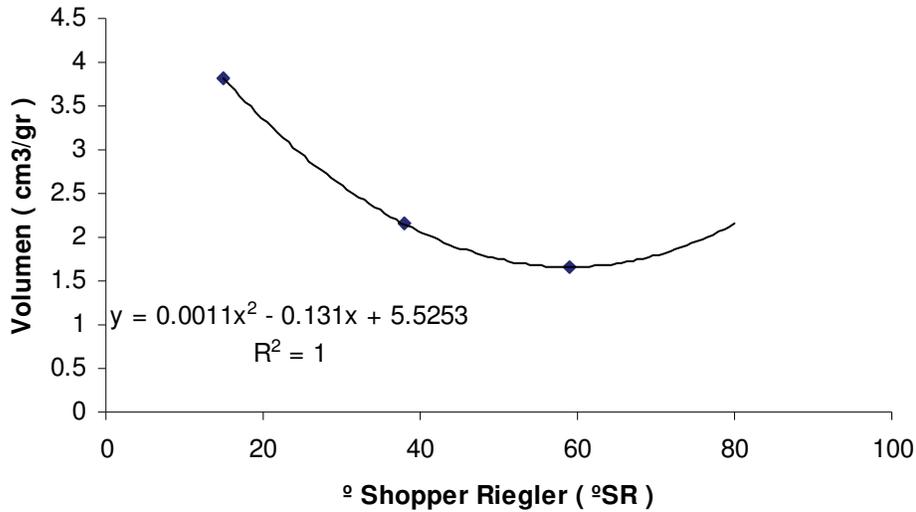


Figura 62.- Comportamiento de volumen pulpa café a la sosa.

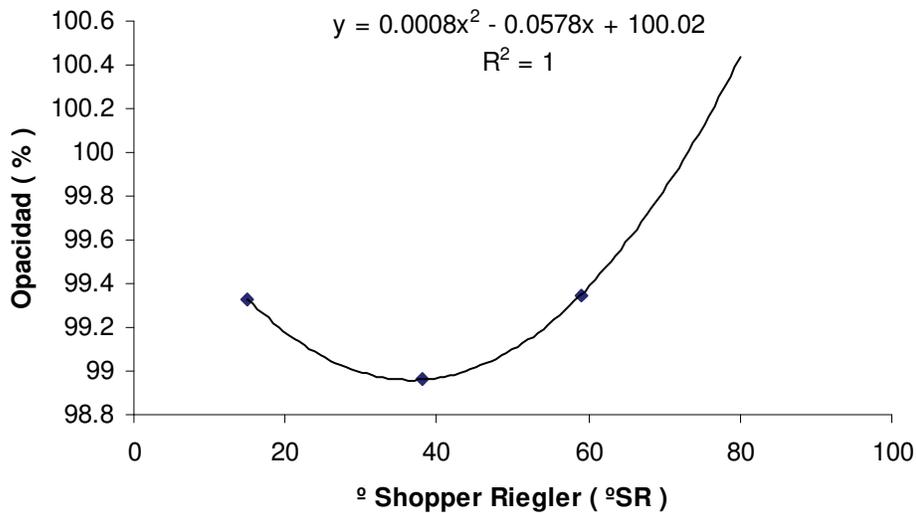


Figura 63.- Comportamiento de opacidad pulpa café a la sosa

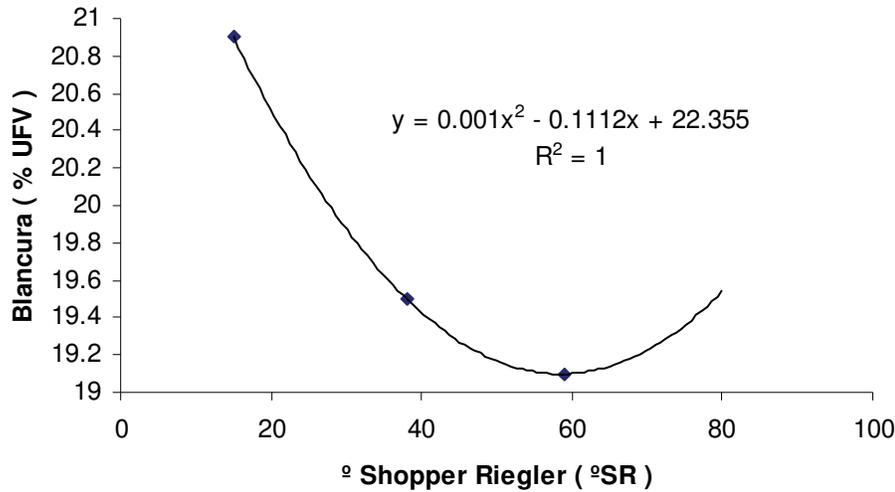


Figura 64.- Comportamiento de blancura pulpa café a la sosa.

En la figura 62, 63 y 64 se presentan las gráficas del comportamiento de las variables volumen, opacidad y blancura de la pulpa obtenida mediante el proceso a la sosa sin blanquear respectivamente, el volumen disminuye al momento de incrementar el tiempo de refinación esto puede explicarse ya que la longitud de las fibras disminuye y al momento de formar la hoja, el espesor de esta disminuye conservando el gramaje (Casey 1991a), el comportamiento de la opacidad (figura 63) es congruente con lo reportado en la literatura (Casey 1991 b), la opacidad disminuye al momento de que se incrementa el área de unión entre fibras. La blancura (figura 64) presenta una disminución a medida que el grado de refinación aumenta (Casey 1991 b).

Comparando los datos disponibles en la literatura de pruebas fisicomecánicas de *Q. conspersa* que reportan un índice de rasgado en pulpa café de 4.8 mNm²/g (Albarrán 2004), se aprecia potencial en la pulpa de *Eucalyptus citriodora* para poder ser utilizada en la fabricación de papel.

9.3.-Blanqueo de la pulpa kraft y a la sosa

En las siguientes tablas (61 y 62) se muestran los resultados de los blanqueos con secuencias que incluyen cloro y libres de cloro para las pulpas obtenidas mediante el proceso kraft y a la sosa.

Tabla 61.- Condiciones finales blanqueo de pulpa kraft incluyendo cloro.

ETAPA	CD	Ep	P	D
pH	1.34	11.71	9.88	4.45
Consumo de reactivos				
% Cl ₂	Consumo total			
% ClO ₂	Consumo total			72.07
% NaOH		50.54	Consumo total	Consumo total
% Alkali total		48.34	59.4	55.8
% H ₂ O ₂		Consumo total	99.98	
Número de microkappa	3.7	2.267	1.53	1.29
% Blancura				87.2

En la tabla 61, se aprecia que el consumo de reactivo que incluye cloro en la primera etapa fue total, pero en la última etapa, pudo haberse reducido la aplicación ya que se consumió el 72 % únicamente. La aplicación del peróxido fue adecuada ya que se tiene consumo total.

Tabla 62.- Condiciones finales blanqueo de pulpa kraft libre de cloro.

ETAPA	O	A	Z	Eop	P ₁	FAS
pH	8.69	3.08		9.77	10.08	9.41
Consumo de reactivo						
% NaOH	Consumo total			Consumo total	97.6	Consumo total
% Alkali total	99.27			98.76	96.9	Consumo total
% H ₂ O ₂				Consumo total	Consumo total	
% O ₃			95.8			
% FAS						No se determino
Número de microkappa	6.36		5.28	5.19	5.14	4.42
% Blancura						71.3

En la tabla 62 se muestra la relación de consumo en los reactivos correspondientes a cada etapa de blanqueo libre de cloro, es necesario mencionar que los consumos fueron totales o muy cercanos, aun así, en este caso el comportamiento de la pulpa resulto muy peculiar, ya que la respuesta a cada etapa de blanqueo medida con el número de microkappa fue muy pobre, es decir, aun y cuando los consumos de reactivos fueron adecuados, la pulpa presentó resistencia al blanqueo, este comportamiento puede ser atribuible a la especie, y claro esta, se aprecia el potencial de la investigación para utilizar mayor cantidad de reactivos.

El blanqueo de la pulpa obtenida mediante el proceso kraft, el cuál parte con una blancura del 25.5 %, tuvo resultados mejores en la secuencia que incluye cloro, su valor fue de 87.2 % en comparación con 71.3 % en la secuencia libre de cloro, los números de microkappa finales fueron de 1.29 y 4.42 para las secuencias con cloro y libre de el respectivamente.

Tabla 63.- Condiciones finales blanqueo de pulpa sosa con secuencia incluyendo cloro.

ETAPA	CD	Ep	P	D
pH	1.43	12.41	10.7	4.25
Consumo de reactivos				
% Cl₂	Consumo total			
% ClO₂	Consumo total			93.11
% NaOH		99.2	99.4	Consumo total
% Álcali total		97.3	98.9	Consumo total
% H₂O₂		72.69	Consumo total	
Número de microkappa	No se determinó	1.149	0.68	0.495
% Blancura				85.09

Tabla 64.- Condiciones finales en el blanqueo de pulpa sosa con secuencia libre de cloro.

ETAPA	O	A	Z	Eop	P ₁	P ₂
pH	11.72	3.04		10.54	11.02	10.26
Consumo de reactivo						
% NaOH	99.8			Consumo total	99.32	Consumo total
% Alkali total	97.09			99.5	97.32	98.32
% H2O2				Consumo total	99.8	99.8
%O3			98.6			
Número de microkappa	3.49		2.11	No se determinó	2.6	2.21
% Blancura						78.4

El blanqueo de la pulpa obtenida mediante el proceso a la sosa, se inició con una blancura de 20.9 % y en los resultados obtenidos se tiene una blancura de 85.09 % en la secuencia que incluye cloro (tabla 63) y 78.4 % en la secuencia libre de cloro (tabla 64), los números de microkappa correspondientes son 0.495 secuencia incluye cloro y 2.21 de blanqueo libre de cloro.

Analizando las unidades que se incrementaron en blancura tanto en la pulpa kraft como a la sosa, para ambos procesos de blanqueo, aquellos que incluyen cloro y los libres de este, se encuentra que, para la pulpa kraft iniciando con un 25.5 % de blancura se incrementaron 45 unidades en la secuencia libre de cloro y 61 en la secuencia que incluye cloro. En la pulpa a la sosa iniciando con un 20.9 % de blancura se incrementan en este caso 57 unidades en la secuencia libre de cloro y 65 en la que incluye cloro.

Se encuentran datos de blanqueo de pulpa obtenida mediante el proceso kraft en la literatura para *Eucalyptus saligna* (Gabriel et al 2005) reportando un nivel de blancura de 85.55 % en una secuencia que incluye cloro y 86.9 % en secuencia libre de cloro, Ortega et al (2005), reporta para *Eucalyptus camaldulensis* blancuras de 87.3 % con secuencia que incluye cloro y 82 % para secuencia libre de cloro. Los niveles de blancura para las secuencias con cloro son mayores que en las secuencias libres del mismo, esto puede explicarse debido a que el cloro presente en forma de dióxido de cloro en la primera etapa de blanqueo, se realiza a 60 °C y en este punto la velocidad de reacción entre la lignina y el cloro es más rápida que con otros compuestos presentes, en esta etapa se consumió todo el cloro presente, de esta forma se favorece la deslignificación (Eiras y Colodette 2003), se reporta en la literatura que, para pulpas obtenidas mediante el proceso kraft de *Eucalyptus spp*, resulta favorable aplicar el tratamiento con ozono en etapas intermedias (Colodette et al 2000).

Se puede apreciar que los resultados de los procesos de blanqueo para la pulpa kraft del *Eucalyptus citriodora* coinciden con los reportados en la literatura, con niveles de 87.2% en secuencia clorada, comparado con un 87.3 % para el *E. camaldulensis*, (Ortega et al 2005) 85.55 % en *E. saligna*(Gabriel Et al 2005), en secuencia libre de cloro 85.09 % en *E. citriodora*, 86.9 % *E. salina*(Gabriel et al 2005) y 82 % *E. camaldulensis*(Ortega et al 2005). Puede entonces considerarse según los resultados obtenidos como una opción para la fabricación de pulpa blanqueada al *Eucalyptus citriodora*.

9.4.-Evaluación físico-mecánica de las pulpas blanqueadas

Curvas de batido pulpa kraft blanqueada con secuencia incluyendo cloro

Tabla 65.- Resultados curva de batido pupa kraft blanqueada secuencia con cloro.

Tiempo de refinación	min	0	10	30	45	60
Tiempo de drenado	seg	15	25	46	50	66
° Schopper Riegler	°SR	16	19	30	71	82
Canadian Estándar Freeness	ml	840	810	700	290	180
Gramaje	gr/m2	62.4	63.1	62.9	61.8	62.9
Largo de ruptura	m	1816	4332	6359	7335	7419
Índice de rasgado	mN-m2/gr	3.45	6.21	7.79	8.25	6.23
Porosidad Gurley	seg/100 cc	1	0.07	3.44	5.33	EXCESO
Volumen	cm3/gr	2.41	1.83	1.63	1.40	1.23
Opacidad	%	80.33	77.25	72.38	70.12	61.37
Blancura	% UFV	87.2	86.8	86.2	86	85.9

En la tabla 65 se muestra el comportamiento que tiene la pulpa kraft después de haber sido blanqueada con una secuencia que incluye cloro, al momento de ser sometida a refinación, se puede apreciar como a un tiempo de 30 minutos aún se tienen niveles de drenabilidad altos, pero a 45 minutos este se abate drásticamente (figura 65), este comportamiento resulta congruente con lo reportado en la literatura (Casey 1990), llega un punto máximo en el cual se tiene alta drenabilidad y máximo desarrollo de resistencia y de ahí en adelante la resistencia comienza a disminuir de manera paulatina, en la figura 66 se presenta la curva que describe el comportamiento anterior, la ecuación mostrada en dicha figura presenta un coeficiente de correlación del 0.88, este, es un valor aceptable para poder considerar confiable dicha expresión.

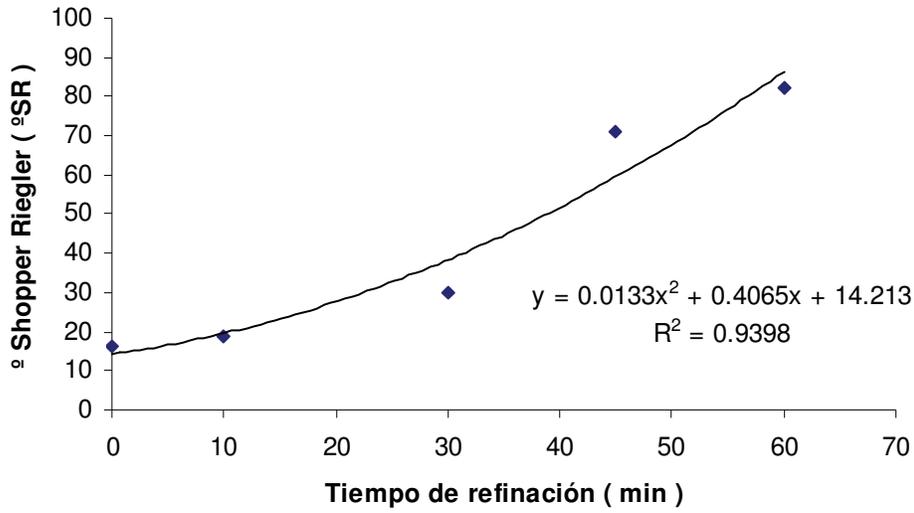


Figura 65.- Comportamiento de la drenabilidad en pulpa kraft blanqueada con cloro.

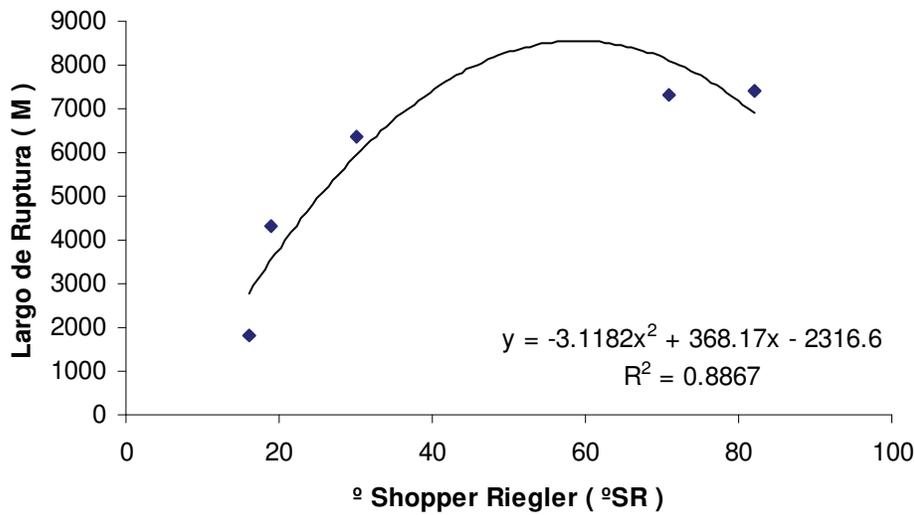


Figura 66.- Comportamiento de largo de ruptura en pulpa kraft blanqueada con cloro.

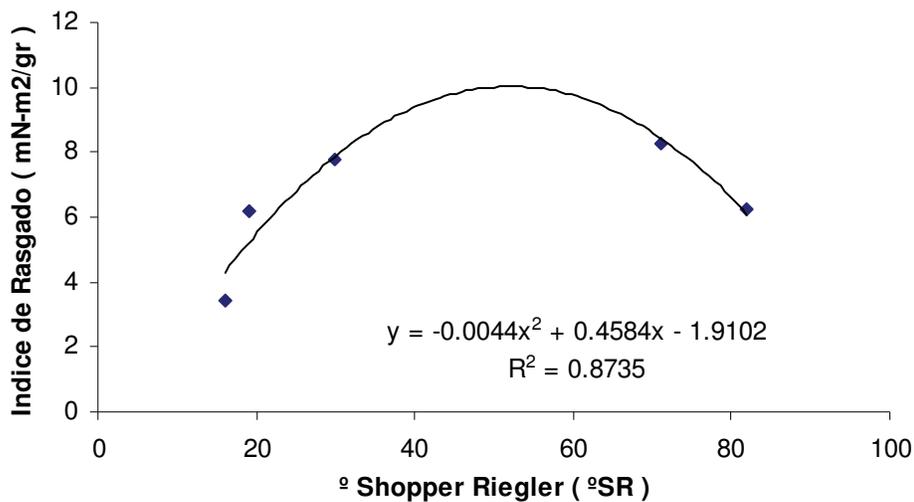


Figura 67.- Comportamiento del índice de rasgado pulpa kraft blanqueada con cloro.

El índice de rasgado (figura 67), presenta un comportamiento congruente con el que manifiesta el largo de ruptura, llega a un punto máximo y en adelante, los valores son menores, en este caso el coeficiente de correlación para la ecuación obtenida es de 0.87 lo cual avala la confiabilidad de la misma.

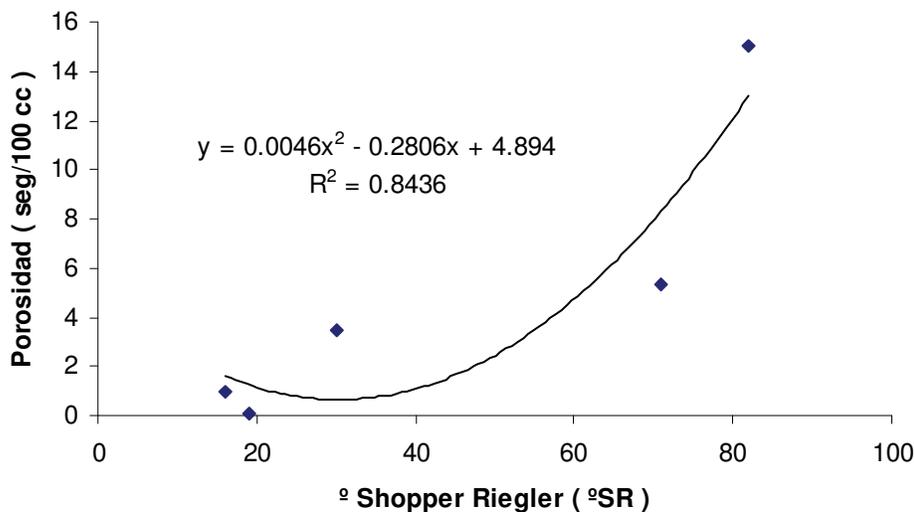


Figura 68.- Comportamiento de porosidad pulpa kraft blanqueada con cloro.

La figura 68 que describe el comportamiento de la porosidad, presenta una curva normal (Casey 1991 b) indicando que la resistencia del papel al paso del aire se incrementa a medida que el espacio disponible entre las fibras es menor, ya que la fricción aumenta. El coeficiente de correlación asociado a la ecuación en este caso es de 0.84 por lo tanto, el nivel de confiabilidad es aceptable.

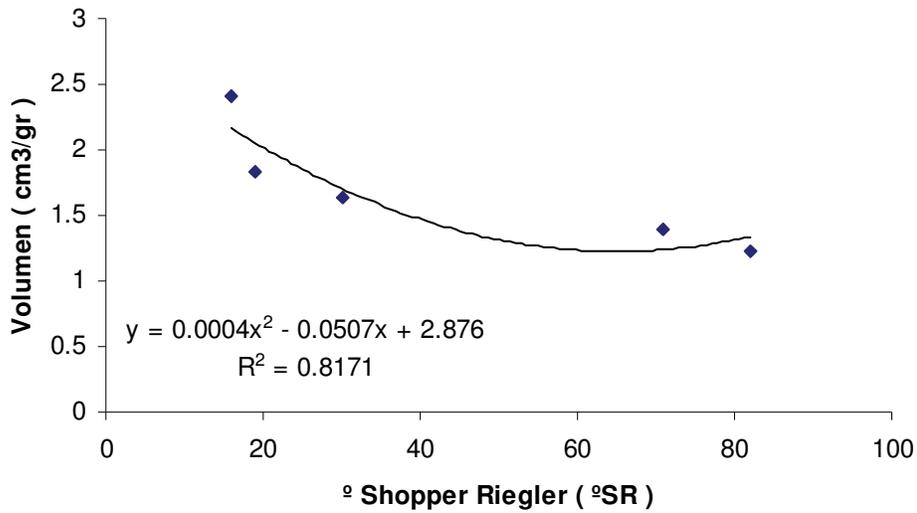


Figura 69.- Comportamiento del volumen en pulpa kraft blanqueada con cloro.

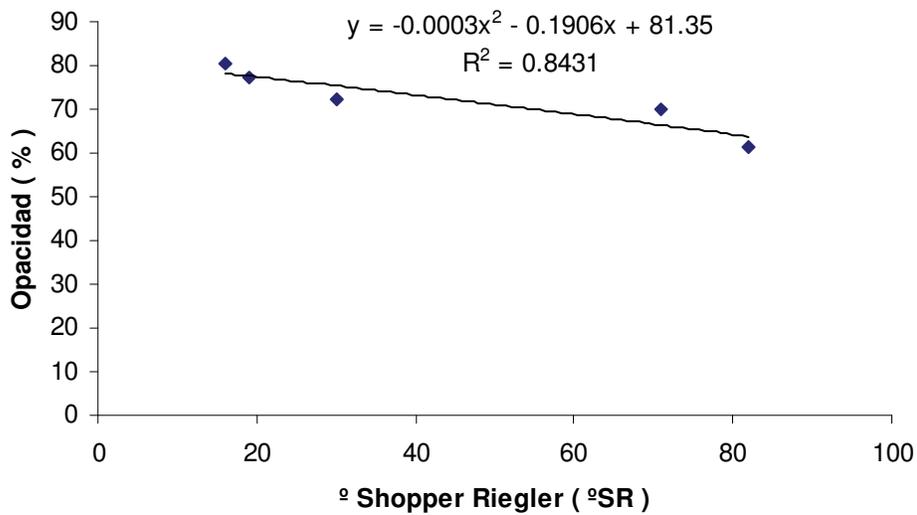


Figura 70.- Comportamiento de la opacidad en pulpa kraft blanqueada con cloro.

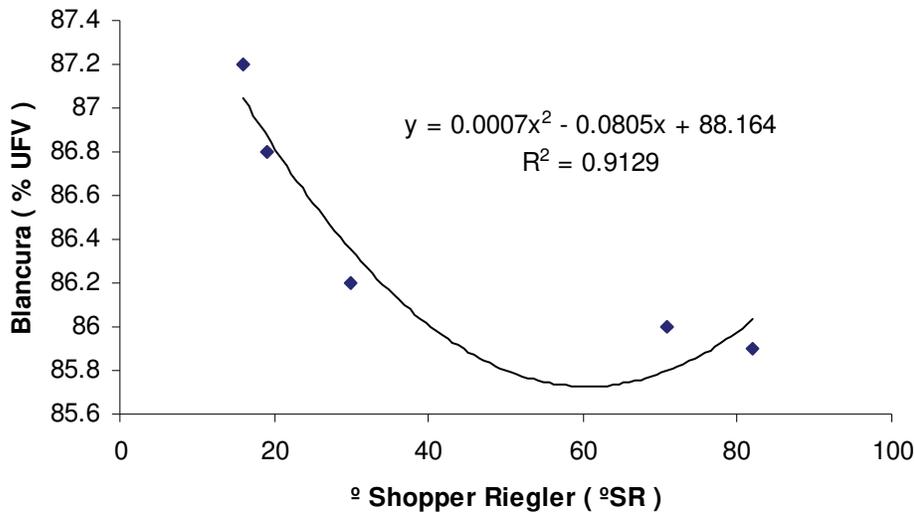


Figura 71.- Comportamiento de blancura pulpa kraft blanqueada con cloro.

El volumen (figura 69) muestra que, a mayor grado de refinación, este disminuye, lo anterior, es apoyado con la literatura (Casey 1990), mientras la fibra tenga mayor tiempo de refinación, desaparece el espacio que existe entre ellas, dando valores menores en el volumen, el coeficiente de correlación para el modelo matemático que describe mejor la serie de datos, tiene un valor de 0.81 dando validez al modelo. La figura 70 se refiere a la opacidad, la opacidad disminuye al aumentar el grado de refinación, esto se explica por que la refinación aumenta el área de contacto óptico entre las fibras al incrementar el área de unión entre ellas, razón por la cual la opacidad tiende a disminuir. En consecuencia, como el formado en húmedo no aumenta la superficie específica, pero si la unión entre fibras, la opacidad disminuye. (Casey 1991 b). El coeficiente de correlación de la ecuación obtenida para esta gráfica tiene un valor de 0.84 por lo que se puede considerar confiable para predecir resultados.

La blancura describe una gráfica que se encuentra en la figura 71, este comportamiento coincide con lo reportado en la literatura (Casey 1991b), este dato decae conforme se incrementa la refinación, el coeficiente de correlación de la ecuación presentada en la figura 71 es de 0.91, muy aceptable.

Curva de batido pulpa kraft blanqueada con secuencia libre de cloro

Tabla 66.- Resultados de la curva de batido en pulpa kraft blanqueada libre de cloro.

Tiempo de refinación	min	0
Tiempo de drenado	seg	18
° Schopper Riegler	°SR	15
Canadian Estándar Freeness	ml	850
Gramaje	gr/m ²	62.9
Largo de ruptura	M	2120
Índice de rasgado	mN-m ² /gr	3.89
Porosidad Gurley	seg/ 100 cc	0.1
Volumen	cm ³ /gr	2.2
Opacidad	%	79.65
Blancura	% UFV	71.3

Debido a que el blanqueo con la secuencia libre de cloro no fue exitoso en un inicio, este tuvo que modificarse y con esto la cantidad de pulpa disponible para la experimentación disminuyó, razón por la cual no fue posible elaborar la curva de refinación.

Con los datos obtenidos para las diferentes características, registrados en la tabla 66, se observa que el nivel de drenabilidad es del orden de los valores de la pulpa kraft blanqueada con secuencia incluyendo cloro a un tiempo 0, el largo de ruptura tiene valores adecuados para considerarla como opción en el proceso de fabricación de papel, aun que la blancura es baja.

Curva de batido pulpa sosa blanqueada utilizando cloro

Tabla 67.- Resultados de la curva de batido en pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

Tiempo de refinación	min	0	2	4	5
Tiempo de drenado	seg	15	38	60	53
° Schopper Riegler	°SR	16	26	47	53
Canadian Frenes Estándar	ml	840	740	520	470
Gramaje	Gr/m ²	62.4	57.8	56.9	57.9
Largo de ruptura	m	1068	1153	1875	1727
Índice de rasgado	mN-m ² /gr	1.88	2.03	1.89	1.52
Porosidad Gurley	seg/100cc	1	0.96	1.06	1.16
Volumen	cm ³ /gr	2.42	2.16	1.8	1.81
Opacidad	%	81.81	80.11	77.96	78.33
Blancura	% UFV	85.09	84.4	84.1	84

La pulpa a la sosa obtenida de la secuencia de blanqueo incluyendo cloro mostrados en la tabla 67, hace evidente el hecho de que los niveles de drenabilidad disminuyen de manera rápida, ya que el tiempo en el cual se logra desarrollar la máxima resistencia y disminuyendo la drenabilidad es de 4 minutos, esto indica que el daño a la fibra después de la secuencia de blanqueo es considerable ya que prácticamente no se puede lograr un desarrollo en las propiedades de la fibra al momento de someterlas a un tratamiento mecánico, motivo por el cual esta curva de refinación tiene únicamente 4 puntos incluyendo el tiempo cero.

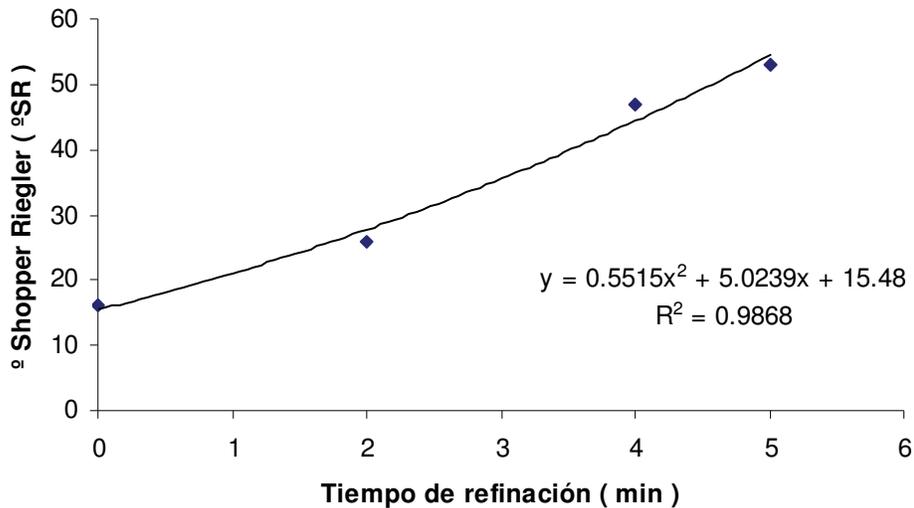


Figura 72.- Comportamiento de la drenabilidad en pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

La durabilidad o resistencia a la refinación graficada en la figura 72, tiene una ecuación que la describe, la cual tiene asociado un coeficiente de correlación de 0.98.

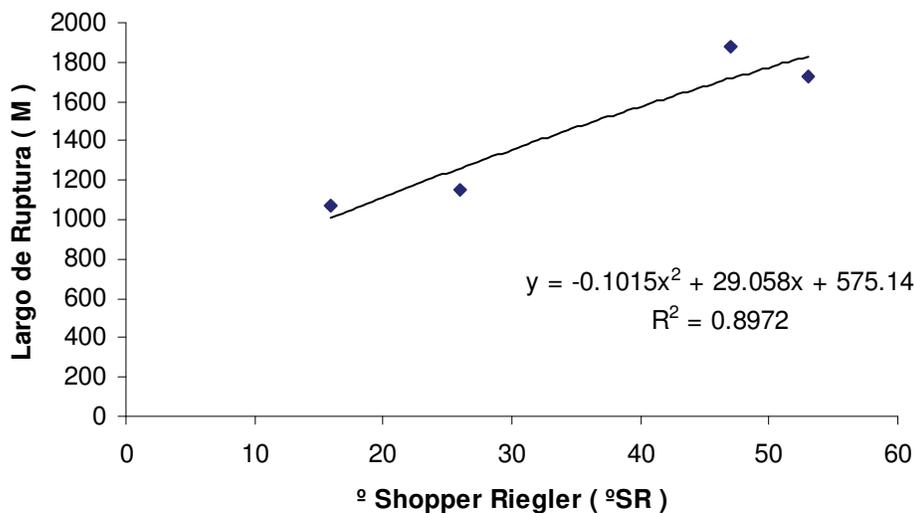


Figura 73.- Comportamiento de largo de ruptura en pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

La gráfica de largo de ruptura (figura 73), no alcanza a dibujarse completamente ya que solo se cuenta con cuatro datos, pero se puede apreciar que no es una línea recta y con pendiente la que se describe, ya que la ecuación obtenida es cuadrática y con un coeficiente de correlación de 0.89.

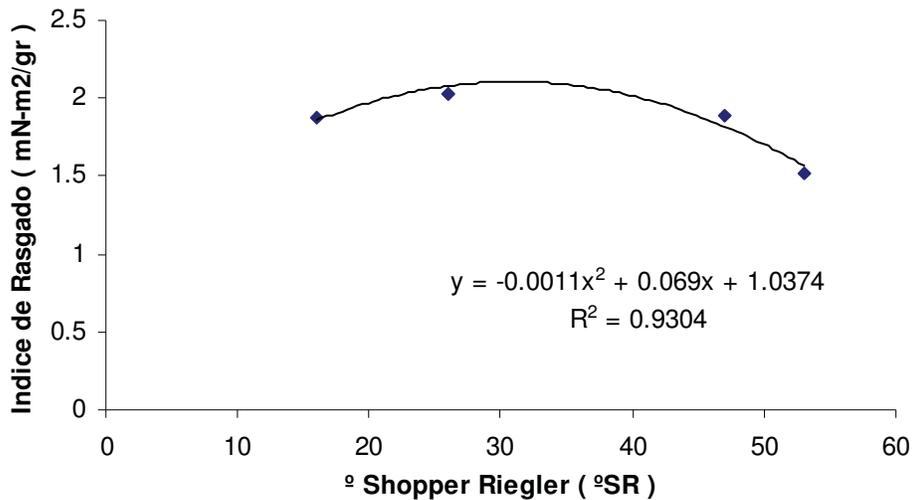


Figura 74.- Comportamiento del índice de rasgado en pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

La figura 74 y 75 de índice de rasgado y porosidad respectivamente, permiten corroborar el hecho de que a mayor tiempo de refinación el índice de rasgado disminuye después de haber llegado a su máximo desarrollo y la porosidad tiende a incrementarse ya que es más difícil el paso del aire en la hoja formada. Los coeficientes de correlación asociados a las ecuaciones que describen el comportamiento de las curvas en cada una de las figuras son de 0.93 para índice de rasgado y 0.99 para porosidad, valores aceptables para considerar la ecuación como válida.

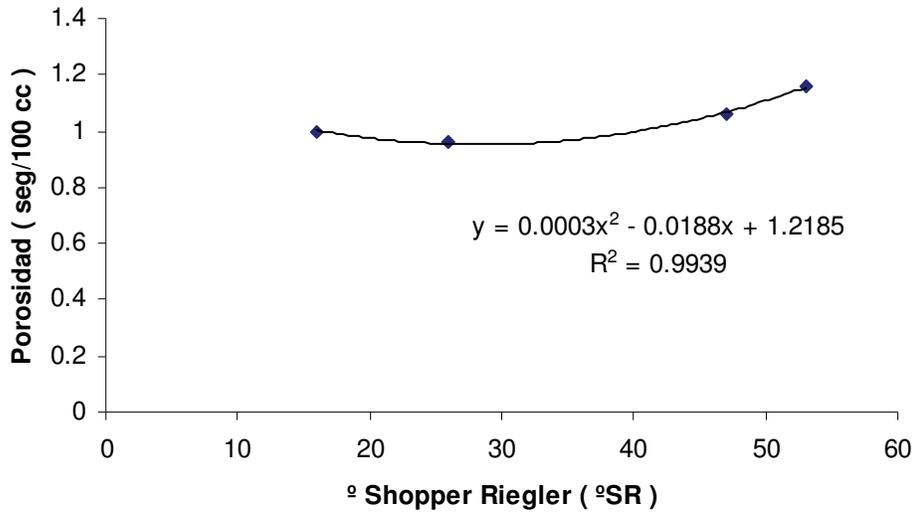


Figura 75.- Comportamiento de la porosidad en pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

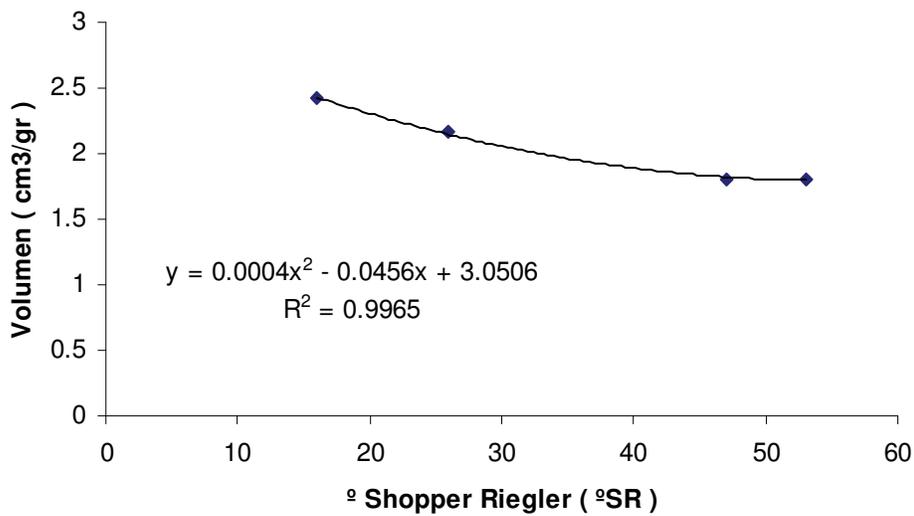


Figura 76.- Comportamiento de volumen en la pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

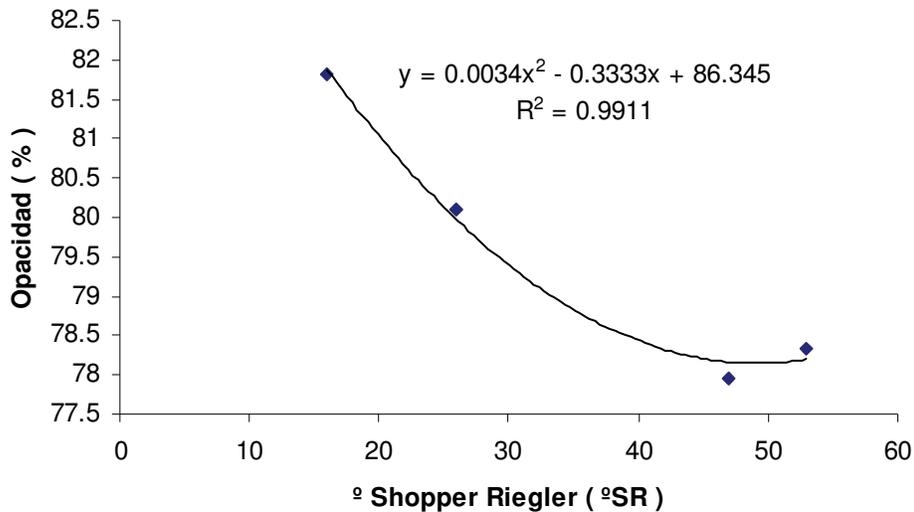


Figura 77.- Comportamiento de la opacidad en pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

El volumen (figura 76) es la propiedad que de alguna forma está indicando el espacio que existe entre las fibras, disminuye al incrementar el tiempo de refinación, el coeficiente de correlación de la ecuación es de 0.99, en la opacidad (figura 77) el coeficiente de correlación es de 0.99 y en este caso también se aprecia el descenso de la opacidad al incrementar la refinación.

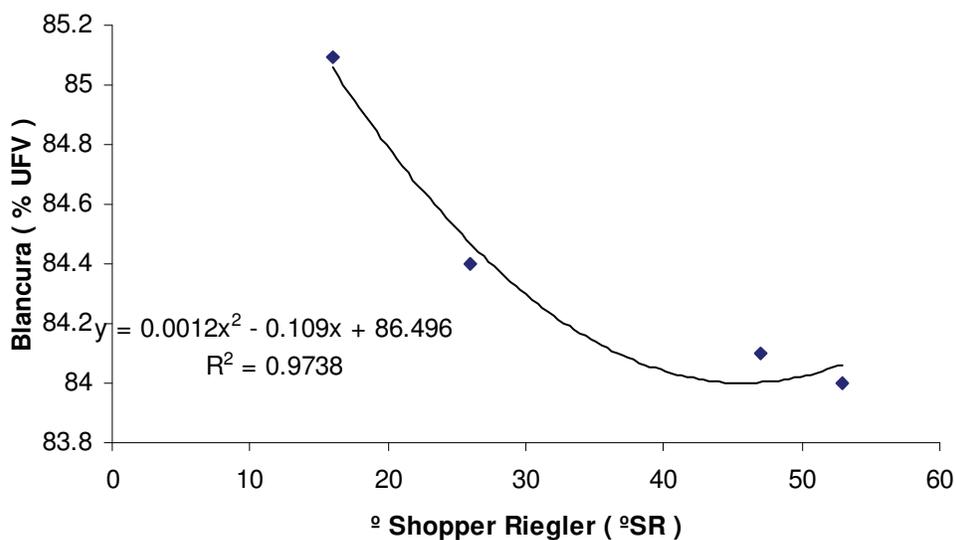


Figura 78.- Comportamiento de la blancura en pulpa a la sosa blanqueada con cloro.

Al momento que la fibra se somete a la refinación, la blancura presenta disminución (figura 78), si este comportamiento se describe por medio de la ecuación mostrada en

la misma figura, se tiene un coeficiente de correlación del 0.97, respaldando así la confiabilidad de dicha ecuación.

Curva de batido para pulpa sosa blanqueada con una secuencia libre de cloro

Tabla 68.- Resultados curva de batido pulpa sosa blanqueada libre de cloro.

Tiempo de refinación	Min	0	3
Tiempo de drenado	Seg	39	44
° Schopper Riegler	°SR	43	74
Canadian Estándar Freeness	MI	570	260
Gramaje	gr/m ²	66.9	
Largo de ruptura	M	1196	
Índice de rasgado	mN-m ² /g	1.76	
Porosidad Gurley	seg/100cc	0.28	
Volumen	cm ³ /gr	1.89	
Opacidad	%	78.35	
Blancura	% UFV	78.4	

La pulpa a la sosa blanqueada con secuencia libre de cloro, no fue manejable para poder realizar la curva de refinación, en el tiempo cero la drenabilidad fue baja, 570 CFS (tabla 68), con un tiempo de 39 segundos, debido a esto, no fue posible elaborar hojas para el tiempo correspondiente a 3 minutos, pues la drenabilidad disminuyó a niveles tan bajos que no resultó práctico la elaboración de las mismas, este comportamiento puede ser debido al daño que sufrió la fibra durante el blanqueo.

Otra variable importante para evaluar la funcionalidad de la fibra en un proceso de fabricación de papel es la viscosidad, en la tabla 70 se muestran los valores de las pulpas en las diferentes etapas, en ella se aprecia que al momento de someter la madera a un proceso de obtención de pulpa kraft, se afecta menos que en un proceso a la sosa (Casey 1990), ahora bien, los procesos de blanqueo también demeritan el grado de polimerización (Casey 1990) de la pulpa celulósica, y en este caso, se disminuye más en los procesos de blanqueo libres de cloro.

Tabla 69.- Viscosidades diferentes pulpas.

PROCESO	VISCOSIDAD (cps)		
	CAFÉ	BLANQUEADA CON CLORO	BLANQUEADA LIBRE DE CLORO
KRAFT	24.97	9.18	3.4
SOSA	3.48	2.98	2.2

9.5.-Análisis de los licores residuales kraft y a la sosa

Los licores resultantes del proceso kraft y a la sosa, al ser analizados, arrojaron los valores mostrados en la tabla 71 y 72.

Tabla 70.- Análisis del licor residual kraft.

DETERMINACIÓN	LICOR NEGRO RESIDUAL KRAFT
Álcali efectivo	14.0 gr/lt
Álcali activo	14.1 gr/lt
Álcali total	37.7 gr/lt
% Sulfidez	1.418 %
% sólidos	21.81 %
Ph	10.94

Se consumió un 85.3 % del reactivo en el licor medido como álcali activo, en el proceso de cocción kraft.

Tabla 71.- Análisis del licor residual sosa.

DETERMINACIÓN	LICOR NEGRO RESIDUAL SOSA
Álcali activo	6.4 gr/lt
Álcali total	17.0 gr/lt
% sólidos	11.07 %
Ph	10.83

Para la cocción a la sosa, se tiene un consumo del 98.6 % de álcali activo.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

PULPA OBTENIDA MEDIANTE EL PROCESO KRAFT

Primera etapa de cocción

- ⇒ Se encontró diferencia estadística del factor tiempo sobre el rendimiento, siendo el valor mayor (49.22 %) a un tiempo de 120 min.
- ⇒ El factor carga (cantidad de reactivos) presenta diferencia estadística sobre el rendimiento, teniendo valores mayores (49.4 %) para una carga menor (14 %).
- ⇒ Se encontró diferencia estadística del factor zona sobre el rendimiento, siendo mayor (49.3 %) en la zona de arriba.
- ⇒ No se encontró diferencia estadística del factor tiempo sobre cantidad de rechazos.
- ⇒ Se encontró diferencia estadística de la variable carga sobre la cantidad de rechazos, obteniendo su menor valor (0.34 %) con una carga de 15.5 %.
- ⇒ La variable zona no presenta diferencia estadística sobre la cantidad de rechazos.
- ⇒ La variable tiempo de cocción presenta diferencia estadística sobre el número de kappa, obteniendo un valor menor en este último (17.3) con un tiempo de 150 min.

- ⇒ Se encontró diferencia estadística de la variable carga de reactivos sobre el número de kappa, con una carga de 15.5 % el número de kappa se minimiza (18.4).
- ⇒ Se encontró diferencia estadística para el número de kappa de la variable zona, siendo menor (17.7) en la parte superior.

Segunda etapa de cocción.

- ⇒ La variable de respuesta rendimiento se maximiza (47.9 %) cuando el proceso se lleva a cabo con una carga de reactivos del 15.5 % y un tiempo de 120 minutos.
- ⇒ Para minimizar los rechazos, el proceso deberá de efectuarse con una carga de reactivos del 15.5 % y un tiempo de 120 minutos.
- ⇒ El número de kappa se minimiza con un tiempo de cocción de 150 minutos y una carga de reactivos de 15.5 %.

Pruebas físico mecánicas de la pulpa café en la segunda etapa de cocción.

- ⇒ El comportamiento encontrado en las propiedades de resistencia y ópticas en función del grado de refinación fue normal.
- ⇒ El valor máximo de largo de ruptura 9677 m, se obtuvo a 73 °SR y a 33 °SR el máximo de índice de rasgado 10.8 mN-m²/g.
- ⇒ La fibra tiene su punto óptimo de drenabilidad a 33 °SR.

Proceso de blanqueo con secuencia incluyendo cloro

- ⇒ Se logra un 87.2% en el nivel de blancura.
- ⇒ La pulpa celulósica presenta buena reactividad con el proceso de blanqueo
- ⇒ La pulpa tiene capacidad de respuesta favorable para ser blanqueada con secuencia convencional incluyendo cloro.
- ⇒ El nivel de blancura alcanzado es comparable con las blancuras de la pulpa utilizada en la fabricación de papel.

Proceso de blanqueo con secuencia libre de cloro

- ⇒ El nivel de blancura obtenido es de 71.3% .
- ⇒ Se presentan resultados de menor calidad que la secuencia que incluye cloro.

Pruebas físico mecánicas de la pulpa blanqueada con secuencia que incluye cloro

- ⇒ El comportamiento del desarrollo de propiedades mecánicas y ópticas en función del grado de refinación de la pulpa blanqueada es normal.
- ⇒ El nivel óptimo de refinación considerando la drenabilidad es de 30 °SR, el máximo desarrollo de largo de ruptura está a 82 °SR, con un valor de 7414 m, y a 71 °SR el índice de rasgado se encuentra en su máximo nivel con un valor de 8.25 mN-m²/g.

Pruebas físico mecánicas de la pulpa blanqueada con secuencia libre de cloro

- ⇒ Los niveles de drenabilidad de la pulpa sin refinar son aceptables, el largo de ruptura e índice de rasgado presentan valores bajos en la pulpa sin refinar.

PULPA OBTENIDA MEDIANTE EL PROCESO A LA SOSA

Etapas de cocción

- ⇒ Se encontró diferencia estadística para el rendimiento en los diferentes valores de cargas de reactivos, siendo 18 % el que maximiza el rendimiento.
- ⇒ Se encontró diferencia estadística para el rendimiento de la variable tiempo, siendo mayor a un tiempo de 180 minutos.
- ⇒ Se encuentra diferencia estadística para el número de kappa de la variable carga, minimizando su valor (11.8) con una carga de 28%.
- ⇒ Se encuentra diferencia estadística para el número de kappa de la variable tiempo, obteniendo el menor valor a 180 minutos.
- ⇒ No se encuentra diferencia estadística sobre los rechazos de la carga de reactivos.
- ⇒ No se encuentra diferencia estadística sobre los rechazos del tiempo de cocción.

Pruebas físico mecánicas de la pulpa café

- ⇒ El comportamiento del desarrollo de las propiedades ópticas y de resistencia en función del grado de refinación es normal.
- ⇒ El máximo valor de largo de ruptura se tiene a 59 °SR, el máximo valor de índice de rasgado es a 30 °SR y el mayor grado de drenabilidad es a 30 °SR.
- ⇒ El desarrollo de las propiedades mecánicas, es menor que en la pulpa obtenida mediante el proceso kraft.

Proceso de blanqueo con secuencia que incluye cloro

- ⇒ La pulpa celulósica alcanzó una blancura de 85.09%.
- ⇒ Es susceptible de mejorar el resultado ya que el valor obtenido es de buena calidad.

Proceso de blanqueo con secuencia libre de cloro

- ⇒ Se obtuvo un 78.4% de blancura.
- ⇒ No presentó mucha afinidad a la secuencia de blanqueo la pulpa celulósica.

Pruebas físico mecánicas de la pulpa blanqueada con secuencia que incluye cloro

- ⇒ Se encontró un comportamiento normal en el desarrollo de las propiedades ópticas y de resistencia en función del grado de refinación.
- ⇒ El mayor valor de largo de ruptura 1875 m, esta a 47 °SR, el índice de rasgado mayor 2.03 mN-m²/g es a 26 °SR, la drenabilidad óptima es a 26 °SR.
- ⇒ El desarrollo de propiedades mecánicas es inferior al que se obtiene con la pulpa kraft blanqueada con secuencia que incluye cloro.

Pruebas físico mecánicas de la pulpa blanqueada con secuencia libre de cloro

- ⇒ El nivel de drenabilidad de la pulpa sin refinar es bajo.
- ⇒ El valor de las propiedades de la pulpa son inferiores que los obtenidos con pulpa kraft blanqueada con secuencia libre de cloro.

Finalmente, considerando los resultados de la investigación, se comprueba la hipótesis, es posible obtener pulpa de *E. citriodora* mediante proceso kraft y a la sosa con características similares al *Q. conspersa*.

RECOMENDACIONES

- ⇒ Realizar cocciones mediante los procesos kraft y a la sosa utilizando antraquinona para el *Eucaiyptus citriodora* y realizar mezcla de especies.
- ⇒ Cerrar los rangos en carga de reactivos y tiempo en las cocciones
- ⇒ Realizar la secuencia de blanqueo libre de cloro para pulpa obtenida mediante proceso kraft y a la sosa, incluyendo FAS.
- ⇒ Realizar el análisis químico básico de la madera de *Eucalyptus citriodora*.
-
- ⇒ Aplicar blanqueo de la pulpa con secuencia libre de cloro elemental.
- ⇒ Realizar un estudio sobre disponibilidad real de la madera de *Eucalyptus citriodora* para evaluar su potencial.

11 BIBLIOGRAFÍA

- 1 Albarrán Alvarado Daniel (2004) Biopulpeo kraft de pino y encino con hongos de pudrición blanca. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México
- 2 Ávila G (1996) Estudio de mercado de *Eucalyptus saligna* en el valle central occidente. Comisión Regional de Investigación y Extensión Forestal. Valle Central Occidental. Costa Rica. Disponible en: <http://www.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/viewrec.phtml?ds=binabitrop&fn=/data/15522.html>. (Consulta: 26/08/2004).
- 3 Casey JP (1990) Pulpa y papel, química y tecnología química. I. LIMUSA. México.
- 4 Casey JP (1991 a) Pulpa y Papel Química y Tecnología Química, Tomo 2. LIMUSA México PAG 76 Y 81
- 5 Casey JP (1991 b) Pulpa y Papel Química y Tecnología Química, Tomo 3. LIMUSA México
- 6 Casulla ME (2004) Aracruz celulosa takes strides to integrate, optimize control of its massive pulp operation. Pulp and Paper 45: 101-112.
- 7 Chávez Quintero H (1996) Evaluación del etanol en procesos de pulpeo utilizando eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill). Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. México.
- 8 CNICP (2001) Cámara Nacional de las Industrias de Celulosa y Papel. Memoria estadística. México.
- 9 Colodette JL, Silva MR, Brito ACH (2000) ECF bleaching for the minimum impact *Eucalyptus* Kraft pulp mill. Celulosa y Papel. 16(4):25-33.
- 10 Eiras KM, Colodette JL (2003) *Eucalyptus* kraft pulp bleaching with chlorine dioxide at high temperature. Journal Pulp and Paper Science. 29(2)64-69
- 11 FAO (1981) El eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO: Montes. No. 11. Roma.
- 12 Fernández Lavezzo E (1998) Investigaciones en pulpas kraft de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* y *Eucalyptus dunnii*. maderas de bosques técnicos, tendientes a mejorar sus propiedades ópticas y mecánicas. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. México.

- 13 Gabriel Parra Rosalío Rutiaga Quiñones JG, Castillo Maciel Luis German, Vargas Radillo José de Jesús, Sanjuán Dueñas Rubén (2005) Pulpeo kraft en Madera de *Eucalyptus saligna*. Comisión No1 II Taller en Tecnología de la Madera y Productos Forestales. Trabajo No 23, memoria en CD, pp 1-6.
- 14 Gabriel Parra R, José de Jesús Rivera Prado, José de Jesús Vargas Radillo, Rubén Sanjuán Dueñas, Luis German Castillo Maciel, José Guadalupe Rutiaga Quiñones (2005) Blanqueo de pulpa celulósica de *Eucalyptus saligna* utilizando secuencias clorada y libre de cloro .VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales pp 560-563.
- 15 Gutiérrez Herrera JR (1990) Características del pulpeo organo-solvénte modificado de *Eucalyptus saligna*. Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica. Disponible en:
<http://www.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/viewrec.phtml?ds=binabitrop&fn=/data/11765.html>. (Consulta: 26/08/2004).
- 16 INEGI 2004. El municipio en cifras. Aspectos geográficos. Morelia. México
- 17 Larocque y O. Mass 1941: *In*: Sanjuán Dueñas (1997) Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Universidad de Guadalajara. Editorial AGATA
- 18 Lenz Hans (1990) Historia del papel en México y cosas relacionadas. Miguel Ángel Porrúa
- 19 López Villegas T (1990) Evaluación de la capacidad del *Eucalyptus saligna* para la producción de papel liner mediante el pulpeo químico kraft. Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica. Disponible en:
<http://www.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/viewrec.phtml?ds=binabitrop&fn=/data/11764.html> (Consulta: 26/08/2004).
- 20 Macías Díaz JE (1993) Alternativas para el establecimiento de plantaciones comerciales forestales para la producción de material celulósico en el Estado de Michoacán. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- 21 Mangieri HR, Dimitri MJ (1961) Los eucaliptos en la silvicultura. ACME. Buenos Aires, Argentina.
- 22 Martínez Suarez JG (1988) Los Eucaliptos en la producción de madera con fines industriales para Michoacán. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México
- 23 Montgomery DC (1991) Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México.

- 24 Montoya Oliver JM (1995) El eucalipto. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- 25 Ortega Mora JR, J.J. Vargas Radillo, R Vega Elvira, L.G. Castillo Maciel, R. Sanjuán Dueñas, J.G. Rutiaga Quiñones (2005) Proceso de pulpeo kraft utilizando madera de *Eucalyptus camaldulensis*. XXVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ, memorias en CD, pp 1-5.
- 26 Ortega Mora José Rodolfo, José de Jesús Rivera Prado, José de Jesús Vargas Radillo, Rubén Sanjuán Dueñas, Luis German Castillo Maciel, José Guadalupe Rutiaga Quiñones (2005) Blanqueo de pulpa celulósica de *Eucalyptus camaldulensis* utilizando las secuencias (CD)EpPD y OAZEopPP .VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales pp 555-559.
- 27 Patt R, Kordsachia O, Kochmann C (2005) Vergleich von Eucalyptus und Buche als Rohstoff für die Zellstoffherstellung. Wochenblatt für Papierfabrikation 132(16): 936-941.
- 28 Rodríguez García V (1971) Estudio cinético de un proceso a la sosa con madera de eucalipto para obtención de celulosa. Tesis profesional. Universidad de Guadalajara. México.
- 29 Sanjuán Dueñas (1997) Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Universidad de Guadalajara. Editorial AGATA
- 30 Taques Weckerlin ML (1999) TA.E.D. como activador de compuestos peroxigenados para la deslignificación de pulpa kraft de eucalipto. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. México.
- 31 TAPPI (2000) Test Methods TAPPI Press. Atlanta.
- 32 Villalvazo Naranjo J (1973) Obtención de pulpa celulósica soluble, de alta pureza a partir de eucalipto. Tesis profesional. Universidad de Guadalajara. México.
- 33 www.aracruz.com.br [Consulta: 28 de septiembre de 2004].
- 34 [www.burkesbackyard.com.au/.../top ten gum trees](http://www.burkesbackyard.com.au/.../top_ten_gum_trees) [Consulta 15/10/2005]
- 35 www.desert-tropicals.com/highdel.html [Consulta 15/10/2005]
- 36 www.eufores.com [Consulta: 28 de septiembre de 2004].
- 37 www.hear.org/starr/index.html [Consulta 15/10/2005]
- 38 [www.odla.nu/artikar/images/bieucalyptus citriodora.jpg](http://www.odla.nu/artikar/images/bieucalyptus_citriodora.jpg) [Consulta 15/10/2005]