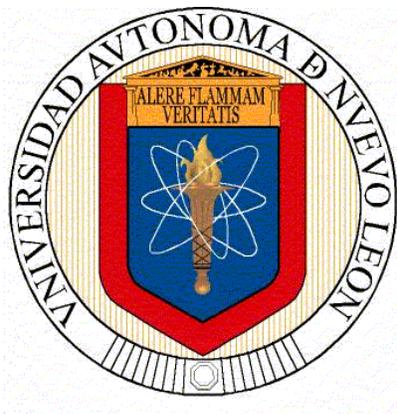


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**OBTENCIÓN DE PULPA KRAFT DE *Alnus acuminata* H.B.K.
COMPARADA CON PULPA KRAFT OBTENIDA DE *Pinus
pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus
camaldulensis* Dehn**

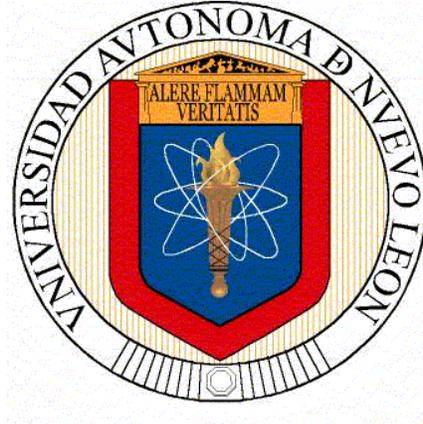
POR

ROSALÍO GABRIEL PARRA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN
MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

DICIEMBRE, 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**OBTENCIÓN DE PULPA KRAFT DE *Alnus acuminata* H.B.K.
COMPARADA CON PULPA KRAFT OBTENIDA DE *Pinus
pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus
camaldulensis* Dehn**

POR

ROSALÍO GABRIEL PARRA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN
MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

DICIEMBRE, 2018

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el título de Doctor en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Utilizando la información de otros autores y otorgando los créditos correspondientes.

M.C. Rosalío Gabriel Parra

Diciembre de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**OBTENCIÓN DE PULPA KRAFT DE *Alnus acuminata* H.B.K.
COMPARADA CON PULPA KRAFT OBTENIDA DE *Pinus pseudostrobus* L.,
Quercus laurina Humb & Bonpl y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.**

Por:

ROSALÍO GABRIEL PARRA

Como requisito parcial para obtener el grado de

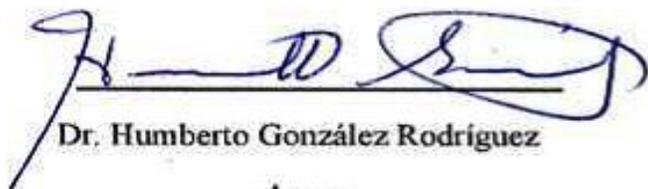
DOCTORADO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES

COMITÉ DE TESIS



Dr. Fortunato Garza Ocañas

Director



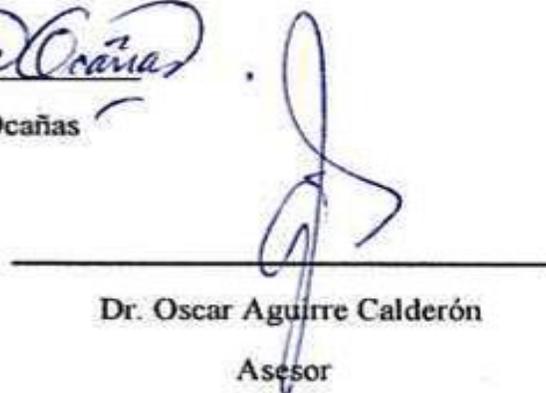
Dr. Humberto González Rodríguez

Asesor



Dr. Enrique Jurado Ybarra

Asesor



Dr. Oscar Aguirre Calderón

Asesor

Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones

Asesor Externo

**OBTENCIÓN DE PULPA KRAFT DE *Alnus acuminata* H.B.K.
COMPARADA CON PULPA KRAFT OBTENIDA DE *Pinus
pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus
camaldulensis* Dehn.**

Aprobación de Tesis

Director

Codirector

Asesor

Asesor

Asesor

Diciembre, 2018

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Nuevo León UANL, en especial a la Facultad de Ciencias Forestales.

Al Dr. Artemio Carrillo Parra por todo su apoyo, paciencia y dedicación para mi formación como investigador.

Al Dr. Fortunato Garza Ocañas por aceptarme como su tesista así como el apoyo brindado para continuar con esta investigación.

A mis asesores del comité de tesis, Dr. Humberto González, Dr. Oscar Aguirre y Dr. Enrique Jurado.

Al Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones por su apoyo y conocimientos que me ha brindado durante todo este tiempo que he trabajado con él, desde la Licenciatura y ahora en el Doctorado.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo UMSNH en especial a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Al Departamento de Madera Celulosa y Papel DMCyP de la Universidad de Guadalajara UdeG, en especial al M.C. Raúl Vega, M.C. Teófilo Escoto, M.C. Bruno Becerra y el Dr. José Anzaldo.

A CONACYT por todo el apoyo económico brindado para mi formación como investigador.

DEDICATORIA

A mis Padres

Ma. Guadalupe Parra Hernández y Rosalío Gabriel Ortiz

Mis hermanos

Lourdes, Isabel, Silvia, Eva, Jorge, Rosa, José Luis, Ma. de los Ángeles y Ma. Guadalupe.

Mis sobrinos

Josué Ángel, José Luis, Jorge Manzo y Karen Martínez.

Mis compañeros y amigos de Banda La Profecía: Mario Cesar Murillo, Martín Corona, Brayan Said y el Maestro Mariano Cruz.

Al Ing. Marín y la Lic. Valeria Jiménez.

A mis amigos y compañeros de LACOPREMA de la UMSNH, M.C. Adriel Hernández, M.C. Wilber Montejo y el Ing. Jorge Arias.

Mis amigos los Arquitectos: Mayra Carrillo, Nallely Miranda e Israel Alquicira

A la I.Q. Marcela Gutiérrez Domínguez.

ÍNDICE

	Pág.
I.- RESUMEN	1
II.- ABSTRACT.	3
1.- INTRODUCCIÓN	5
2.- JUSTIFICACIÓN	8
3.- HIPÓTESIS	9
4.- OBJETIVOS GENERALES	9
5.- MATERIALES Y MÉTODOS	10
5.1. Descripción de área de estudio	10
5.2.- Selección de especies para estudio	11
5.2.1.- Descripción general de las especies seleccionadas	12
5.3.- Material base y clasificación de <i>P. pseudostrobus</i>	14
5.4.- Cocción de fibras y análisis de licor	14
5.5.- Preparación de pulpa	16
5.6.- Análisis de pulpa	17
5.7.- Diseño experimental	17
5.8.- Material base y clasificación de <i>Q. laurina</i> y <i>E. camaldulensis</i>	18
5.9.- Cocción de fibras y análisis de licor	18
5.10.- Preparación de pulpa	19
5.11.- Análisis de pulpa	20
5.12.- Diseño experimental	20
5.13.- Material base de <i>P. pseudostrobus</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>E. camaldulensis</i> y <i>A. acuminata</i>	20
5.14.- Análisis del licor	20
5.15.- Cocciones	21
5.16.- Preparación de la pulpa	21
5.17.- Condiciones de operación de la cocción	22
5.18.- Técnicas utilizadas para determinar las variables	22
5.19.- Diseño experimental	23

	Pág.	
6.-	RESULTADOS	23
6.1.-	Rendimiento de <i>P. pseudostrobis</i>	23
6.2.-	Número de Kappa	23
6.3.-	Rechazos	24
6.4.-	Carga de álcali	24
6.5.-	Efecto de las variables. Tiempo, temperatura y carga	24
6.6.-	Superficie de respuesta	25
6.7.-	Rendimiento de <i>Q. laurina</i> y <i>E. camaldulensis</i>	26
6.8.-	Número de Kappa	27
6.9.-	Rechazos	27
6.10.-	Álcali residual	27
6.11.-	Efecto de las variables	28
6.12.-	Superficie de respuesta	29
6.13.-	Rendimiento de <i>P. pseudostrobis</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>E. camaldulensis</i> y <i>A. acuminata</i>	31
7.-.	DISCUSIÓN.	32
	Maximización y minimización de las variables de calidad para <i>P. pseudostrobis</i>	
	Maximización y minimización de las variables de calidad para <i>P. pseudostrobis</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>E. camaldulensis</i> y <i>A. acuminata</i>	
	Efectos principales para <i>P. pseudostrobis</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>E. camaldulensis</i> y <i>A. acuminata</i>	
	Rangos múltiples	
8.-	CONCLUSIONES	37
9.-	LITERATURA CITADA	39
10.-	ANEXO	43

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1.- Tratamientos realizados para la cocción de las fibras de <i>Pinus pseudostrobus</i> L.	15
Tabla 2.- Normas de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y Papel (TAPPI) empleadas para analizar la pulpa de <i>Pinus pseudostrobus</i> L.	17
Tabla 3.- Matriz de diseño para las cocciones de <i>Q. laurina</i> y <i>E. camaldulensis</i> .	19
Tabla 4.- Normas de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y Papel (TAPPI) empleadas para analizar la pulpa de <i>Q. laurina</i> y <i>E. camaldulensis</i> .	20
Tabla 5.- Tratamientos maximizados realizados para la cocción de las fibras de <i>Pinus pseudostrobus</i> L., <i>Quercus laurina</i> , <i>Eucalyptus camaldulensis</i> y <i>Alnus acuminata</i> H.B.K. con una repetición.	22
Tabla 6.- Normas de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y Papel (TAPPI) empleadas para analizar la pulpa de <i>P. pseudostrobus</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>E. camaldulensis</i> y <i>A. acuminata</i> .	22
Tabla 7.- Rendimiento, números de Kappa, rechazos y álcalies residuales de cocciones de <i>Pinus pseudostrobus</i> L. a diferentes temperaturas, tiempos de residencia y cargas.	23
Tabla 8.- Rendimientos, números de Kappa, rechazos y álcali residual de cocciones de <i>Q. laurina</i> y <i>E. camaldulensis</i> (Q/E) a diferentes temperaturas, tiempos de cocción y cargas.	27
Tabla 9.- Rendimiento, Números de Kappa, rechazos y álcali residuales de cocciones de <i>P. pseudostrobus</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>E. camaldulensis</i> y <i>A. acuminata</i> a maximizaciones de temperaturas, tiempos de cocción y cargas de reactivo.	31
Tabla 10.- Maximización de Rendimiento y Minimización de Número de Kappa, Rechazos y Álcali Residual.	32
Tabla 11.- Maximización de rendimiento y minimización de número de Kappa, rechazos y álcali residual de <i>Q. laurina</i> y <i>E. camaldulensis</i> (Q/E)	34

	Pág.
Tabla 12.- Rangos múltiples de <i>P. pseudostrobus</i> , <i>Q. laurina</i> , <i>E. camaldulensis</i> y <i>A. acuminata</i> .	36
Tabla 13.- ANOVA de Rendimiento de pulpa de <i>Pinus pseudostrobus</i> L.	43
Tabla 14.- ANOVA de Número de Kappa de pulpa de <i>Pinus pseudostrobus</i> L.	43
Tabla 15.- ANOVA de Rechazos de pulpa de <i>Pinus pseudostrobus</i> L.	43
Tabla 16.- ANOVA de Alkali Residual de pulpa de <i>Pinus pseudostrobus</i> L.	44
Tabla 17.- ANOVA de pulpa de <i>Quercus laurina</i>	44
Tabla 18.- ANOVA de pulpa de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .	44
Tabla 19.- ANOVA de pulpa de <i>Pinus pseudostrobus</i> L., <i>Quercus laurina</i> Humb & Bonpl, <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn y <i>Alnus acuminata</i> H.B.K.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de Michoacán y localización del área de estudio	10
Figura 2. <i>Pinus pseudostrobus</i> L.....	11
Figura 3. <i>Quercus laurina</i> H. & B....	11
Figura 4. <i>Eucalyptus camaldulensis</i> D.	11
Figura 5. <i>Alnus acuminata</i> H.B.K.	11
Figura 6. Astilla de <i>Pinus pseudostrobus</i> L.....	14
Figura 7. Zaranda.....	14
Figura 8. Proceso de Cocción Kraft.....	15
Figura 9. Pulpa de <i>P. pseudostrobus</i>	16
Figura 10. Lavado de pulpa.....	16
Figura 11. Desintegración.....	16
Figura 12. Depurado.....	17
Figura 13. Homogeneizado.....	17
Figura 14. Rechazos.....	17
Figura 15. Astilla de <i>Q. laurina</i>	18
Figura 16. Astilla de <i>E. camaldulensis</i>	18
Figura 17. Pulpa de <i>Q. laurina</i>	19
Figura 18. Pulpa de <i>E. camaldulensis</i>	19
Figura 19. Digestor rotatorio.....	21
Figura 20. Digestor tipo bath ...	21
Figura 21. Número de Kappa.....	24
Figura 22. Rechazos.....	24

- Figura 23.** Gráficas de Pareto de las variables de pulpa de *P. pseudostrobus* L. **25**
- Figura 24.** Superficie de respuesta con respecto al rendimiento, número de Kappa, Rechazos y álcali residual de pulpa de *P. pseudostrobus* L. **26**
- Figura 25.** Gráficas de Pareto de las variables de pulpa de *Quercus laurina* y *Eucalyptus camaldulensis*. **28**
- Figura 26.** Superficie de respuesta para el rendimiento y el número de Kappa de pulpa de *Quercus laurina* y *E. camaldulensis*. **29**
- Figura 27.** Superficie de respuesta con respecto a los rechazos y álcali residual de pulpa de *Q. laurina* y *E. camaldulensis*. **30**
- Figura 28.** Astilla de *Alnus acuminata* **31**
- Figura 29.** Pulpa de *Alnus acuminata* **31**
- Figura 30.** Efectos principales de las especies *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata* con las cuatro variables de respuesta. **35**

OBTENCIÓN DE PULPA KRAFT DE *Alnus acuminata* H.B.K. COMPARADA CON PULPA KRAFT OBTENIDA DE *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.

RESUMEN GENERAL

La obtención de pulpa celulósica Kraft en diferentes tipos de especies nos da una visión más amplia de posibles combinaciones que pueden generar papeles con características más específicas y con múltiples usos. En el presente trabajo se estudió la posibilidad de que una especie ajena a esta industria del papel pudiera presentar características aceptables para la producción de pulpa celulósica Kraft y así dar otra opción para el uso de esta especie.

Se comenzó con la obtención de pulpa Kraft de las especies más comunes como lo son *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn en la elaboración de pulpa celulósica, trabajando con las variables de respuesta: rendimiento, número de Kappa, rechazos y álcali residual de acuerdo a las normas TAPPI (2000). En este estudio se utilizaron las siguientes especies: *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn y *Alnus acuminata* H.B.K.

Los resultados se analizaron aplicando un diseño experimental factorial 2^3 . Para *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn la astilla fue proporcionada por la empresa SCRIBE planta Morelia. La especie de *Alnus acuminata* H.B.K., se obtuvo en forma de madera en rollo de la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, municipio de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán. Para la obtención de pulpa Kraft de *Pinus pseudostrobus* L. se emplearon temperaturas de 165 y 170°C, tiempos de cocción de 40 y 80 minutos y carga de reactivos de 18 y 22 %.

Reportando para las variables de respuesta de rendimiento, unas variaron de 33 a 52 %; números de Kappa de 11 a 40, los rechazos con valores de 3.4 a 25.4 y para el álcali residual de 3.1 a 11 g/L. Con *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus*

camaldulensis Dehn el proceso de cocción se llevo a cabo bajo las mismas condiciones que las trabajadas con *Pinus pseudostrobus* L. presentado *Eucalyptus camaldulensis* un mayor rendimiento (49.2 %) que *Q. laurina* (43.7 %); sin embargo en los números de kappa se invirtieron los casos, siendo ahora menor para *Q. laurina* (16.51). *Eucalyptus camaldulensis* presentó porcentajes de rechazos más bajos (1.1 %).

El álcali residual de ambas especies fue similar para *Q. laurina* de 6.6 g/L y para *Eucalyptus camaldulensis* 8.3 g/L. Al efectuar la maximización, en el rendimiento *Q. laurina* alcanzó valores de 50.4 %, similar a *Eucalyptus camaldulensis* con 49.9 %. La minimización en la variable número de Kappa en *Q. laurina* fue de 13.5 mientras que para *E. camaldulensis* de 18.9. En minimización de los rechazos fue mayor para *Q. laurina* con 6.0 % mientras que *E. camaldulensis* presentó un valor de 3.5 %.

El álcali residual de *Q. laurina* fue de 4.3 g/L que es menor al que presentó *E. camaldulensis* con 7 g/L con una carga de reactivos de 19.3 % y 18.5 % respectivamente. Los valores indican que ambas especies presentan una calidad de pulpa Kraft buena. Para la obtención de la pulpa Kraft de *Alnus acuminata* H.B.K. El proceso se desarrollo con las temperaturas de 160 y 175°C, tiempos de cocción de 40 y 95 minutos y carga de reactivos de 16 y 25 % haciéndose una comparación entre las cuatro especies, aplicando las mismas variables de respuesta: rendimiento, número de Kappa, rechazos y álcali residual de acuerdo con las normas TAPPI al igual que el diseño experimental factorial 2³.

Los resultados obtenidos fueron a partir de las maximizaciones presentadas para cada especie. La variable rendimiento presenta valores entre las cuatro especies de 38.5 % en *Quercus* hasta 47.1 % en *Alnus*. La variable número de Kappa tuvo valores de 16.8 en *Quercus* a 29 en *Pinus*). Los rechazos presentaron porcentajes que van de 1.25 % en *Alnus* hasta 23.49 % en *Pinus*. El álcali residual presentó (26.8 g/L en *Alnus* a 45.6 g/L en *Pinus*).

Con una parte de la pulpa Kraft de *Alnus acuminata*, *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn se realizaron las refinaciones correspondientes a diferentes puntos y posteriormente se evaluaron

grados Shopper, gramaje, calibre, porosidad, opacidad, blancura, tensión, elongación, explosión, rasgado y doblez haciéndose una comparación con las cuatro especies y analizando las propiedades físico-mecánicas de acuerdo a las normas TAPPI (2000).

Con la otra parte de la pulpa Kraft se realizó el blanqueo de la misma utilizando secuencias de blanqueo cloradas y libres de cloro. Posteriormente realizando las refinaciones de la pasta correspondientes para su formación de hojas y la evaluación físico-mecánica a las mismas bajo las normas TAPPI.

ABSTRACT

Obtaining Kraft cellulose pulp from different species gives us a broader view of possible combinations that can create roles with more specific characteristics and multiple uses. In this study a not conventional tree species to this sort of studies was used. This considering that it could have acceptable characteristics for the production of cellulosic Kraft pulp, and thus giving an option for its use in the paper industry.

The study started obtaining the Kraft pulping from common species e.g. *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn in order to get the cellulosic pulp. In this study the response variables: yield, Kappa number, rejections and residual alkali in accordance with the TAPPI (2000) standards were used. The species selected for this study are: *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn and *Alnus acuminata* H.B.K.

The results were analyzed using a factorial experimental design 2^3 . *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn sliver were provided by the company SCRIBE plant Morelia. The species of *Alnus acuminata* HBK was obtained in the form of logs from the indigenous community of San Juan Nuevo Parangaricutiro, municipality of San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacan. For Kraft pulping of *Pinus pseudostrobus* L.

temperatures 165 and 170 °C, cooking times of 40 and 80 minutes reactant charge 18 and 22% were used.

Reporting for the response variables performance, a variation from 33 to 52%; Kappa numbers of 11 to 40, rejections with values from 3.4 to 25.4 and the residual alkali of 3.1 to 11 g/L. With *Quercus laurina* Humb & Bonpl and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn the cooking process was carried out under the same conditions as *Pinus pseudostrobus* L. worked with. submitted *Eucalyptus camaldulensis* has a higher yield (49.2%) than *Q. laurina* (43.7%); however in cases kappa numbers were reversed and is now lower for *Q.laurina* (16.51). *Eucalyptus camaldulensis* showed lower percentages of rejections (1.1%).

The residual alkali was similar for both species *Q. laurina* of 6.6 g/L and *Eucalyptus camaldulensis* 8.3 g/L. Upon the maximizing performance *Q. laurina* reached values of 50.4%, similar to *Eucalyptus camaldulensis* with 49.9%. Minimization in the variable Q. Kappa number was 13.5 laurina while for E. camaldulensis 18.9. In minimizing the rejection was increased to 6.0% *Q. laurina* with *E. camaldulensis* presented while a value of 3.5%.

The residual alkali was 4.3 *Q. laurina* g/L which is less than that provided *E.camaldulensis* with 7 g/L with a load of reagents 19.3% and 18.5% respectively. The values indicate that both species exhibit good Kraft pulp quality. To obtain the Kraft pulp *Alnus acuminata* H.B.K. The development process with temperatures of 160 and 175 °C, cooking time 40 minutes and 95 reactive load 16 and 25% making a comparison between the four species, using the same response variables: yield, Kappa number rejections and residual alkali in accordance with TAPPI standards and factorial experimental desing 2³.

The results were from the maximizations presented for each species. The performance variable has values between the four species in *Quercus* 38.5% to 47.1% in *Alnus*. The variable number of Kappa values was 16.8 in *Quercus* and 29 in *Pinus*). The rejections showed percentages ranging from 1.25% to 23.49% in *Alnus* in *Pinus*. The residual alkali introduced (26.8 g/L in *Alnus* to 45.6 g/L in *Pinus*).

With a part of the Kraft pulp *Alnus acuminata*, *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl and *Eucalyptus camaldulensis* Dehn refining processes were carried out corresponding to different points of experimentation and subsequently evaluating the degree of refining Shopper, weight, size, porosity, opacity, whiteness, stress, elongation, burst, tear and curl making a comparison with the four species and analyzing the physical-mechanical properties according to the TAPPI (2000) standards.

With the other part of the Kraft pulp bleaching and physical-mechanical evaluation of the leaves under the TAPPI standards is performed. Concluding that *A. acuminata* Kraft pulp provided better performance and better characteristics compared to *P. pseudostrobus*, *Q. laurina* and *E. camaldulensis*.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1. Pulpa celulósica de madera

La fuente preferida en la industria de la celulosa y papel es la madera. Para la fabricación de la pulpa celulósica es necesaria la separación de la celulosa, hemicelulosa y la lignina, utilizando ya sea métodos químicos y mecánicos o una combinación de ambos (Shimizu, 2009).

El surgimiento de estos métodos fue a finales del siglo XIX. Las razones que han llevado al uso de la madera como materia prima para la elaboración de la pulpa son la disponibilidad, el bajo costo, el manejo del material así como su fácil almacenamiento y su alta calidad y variedad en las propiedades de las fibras de diferentes especies.

Los métodos de obtención de fibra varían en el mundo debido a la gran variabilidad de la calidad en la madera, la geografía y el clima (Casey, 1991).

Esto ha traído consigo un crecimiento del 454 % en la demanda de pulpa celulósica a partir del año 1961 hasta el 2005 (FAO, 2007).

Reflejándose en la actualidad como uno de los sectores más importantes en el mundo (Mazzeo 2008).

Las superficies forestales a nivel mundial tienen una cierta capacidad para producir fibras la cual puede ser limitada. De esta manera se opta por estrategias para lograr aumentar el rendimiento con el uso las fibras vírgenes (Recas, 2015).

1.2. Constituyentes de las fibras celulósicas.

La celulosa, hemicelulosa y lignina son los principales polímeros de mayor proporción de la lignocelulosa. La celulosa es un polímero lineal que está compuesto hasta por 10,000 moléculas D-glucosa las cuales están unidas mediante enlaces glucosídicos β (1-4). Cada residuo de glucosa presenta una rotación de 180°C respecto al residuo contiguo por lo que la celobiosa es la unidad básica de la celulosa. La unión de las cadenas se realiza mediante enlaces de hidrogeno y fuerzas de Van der Waals que generan fibrillas elementales que se asocian íntimamente para formar microfibrillas las cuales tienen diferente orientación en cada nivel de la pared secundaria, caracterizándose por ser rígidas, insolubles y de estructura fibrilar ordenada (Cadena, 2008).

1.3. Materia prima

La materia prima llega a la fábrica en forma de rollo o en forma de astilla, la cual es introducida a el área llamada patio de almacenamiento, con el objetivo de mantener un funcionamiento sin interrupciones en la fábrica.

Al llegar la materia prima en rollo, es descortezada debido a que la corteza es diferente de la madera en el tipo de tejido, color y la forma de la fibra, por lo que no es ideal para la elaboración de pulpa. Al llegar la materia prima en forma de astilla esta es directamente clasificada por tamaño, longitud y espesores (Sanjuán, 1997).

1.4. Cocción

El proceso químico de pulpeo consiste en mezclar la materia prima (madera) con el reactivo (licor de cocción) el cual varía de acuerdo al tipo de proceso que se utilice, así como el uso que se le dará a la pulpa.

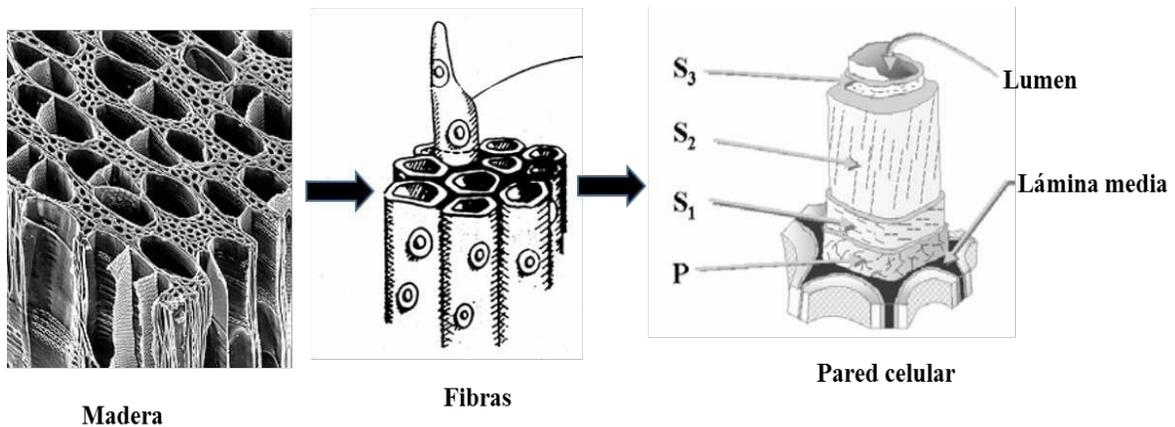
El proceso se efectúa bajo condiciones controladas de presión, temperatura y tiempo. Teniendo como primera etapa la penetración del licor en las cavidades de la materia prima, así como la difusión de los reactivos que están disueltos en el licor de cocción.

1.5. Fibras

En el transcurso de los años la longitud de la fibra ha sido un factor muy importante para la determinación de la calidad de las pulpas.

Las fibras constituyen el fundamento del papel ya que tienen la influencia de la resistencia que presenta el mismo en un producto final, teniendo en cuenta la combinación de fibras largas y cortas para obtener un papel con una mejor calidad y mejor resistencia (Aguilar, 2011).

La necesidad de más fibras en la industria de pulpa y papel ha aumentado en los últimos años, esto debido al incremento del consumo per cápita del papel en el planeta, llevando con esto a la utilización de otras fibras que no son comúnmente usadas para tal fin (Juacida, 2002).



(Kirk and Cullen 1998).

1.6. Obtención de pulpa.

Para la elaboración de suspensión fibrosa llamada pulpa, se necesita utilizar materiales lignocelulósicos los cuales, al tratarlos con un proceso químico o mecánico, logran liberar sus fibras denominándolo pulpeo.

En el proceso químico de obtención de pulpa Kraft su principal objetivo es el separar los componentes principales de la materia prima (celulosa, hemicelulosas y lignina) aunque no es posible separar estos componentes sin que se efectúe un cambio en su estructura química.

2.- JUSTIFICACIÓN

El alto consumo de pulpa y papel requiere la utilización de otras especies no convencionales para la producción de pulpa y papel, todo esto con el fin de evitar la tala inmoderada de las especies más comúnmente utilizadas por la industrial de la celulosa y el papel.

3.- HIPÓTESIS

La pulpa celulósica de *Alnus acuminata* H.B.K. presentará mejor rendimientos así como mejores propiedades comparados con la de *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.

4.- OBJETIVOS GENERALES

1. Obtener pulpa Kraft a partir madera de *Pinus pseudostrobus*, *Quercus laurina*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Alnus acuminata*.
2. Contribuir al conocimiento de la calidad de pulpa celulósica Kraft a partir de: *Pinus pseudostrobus*, *Quercus laurina*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Alnus acuminata*.
3. Obtener y comparar la calidad de la pulpa Kraft de la optimización en el rendimiento y la minimización en el número de Kappa de la pulpa kraft de las maderas de *Pinus pseudostrobus*, *Quercus laurina*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Alnus acuminata*.
4. Determinar las propiedades físico-mecánicas en hojas estándar refinadas de pulpa de: *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata*.
5. Comparar las propiedades físico-mecánicas en hojas estándar refinadas de pulpa Kraft blanqueada de *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata*.

5.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción de área de estudio

La planta SCRIBE Morelia, se ubica en la región central del Estado de Michoacán, en el Municipio de Morelia, en el poniente de la ciudad, colindando al Norte con San Juanito Itzicuaru, al Sur con Cointzio, al Este con Morelos y al Oeste con la Mintzita.



Figura 1.- Mapa de Michoacán y localización del área de estudio.

5.2. Selección de especie para estudio



Figura 2.- *Pinus pseudostrobus* L.



Figura 3.- *Quercus laurina* H. & B.

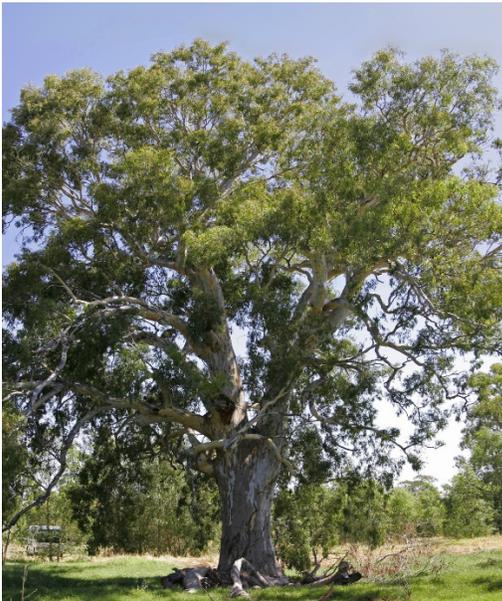


Figura 4.- *Eucalyptus camaldulensis* D.



Figura 5.- *Alnus acuminata* H.B.K.

5.2.1. Descripción de las especies seleccionadas

***Pinus pseudostrabus* L.**

Familia: Pinaceae

La especie presenta entre otras características botánicas fascículos compuestos de cinco hojas delgadas, con conos de forma ovoide y ramillas con tinte cenizo en sus partes interiores. Tiene parentesco con algunas formas que se presentan en la especie de *Pinus montezumae*. El nombre común con el que se le conoce es de pino blanco, presentando una altura del árbol de 30 a 40 m con diámetros de más de un metro y alturas que van de 40 a 80 m. Produce abundante trementina y madera dura y con buena resistencia. Suele encontrarse en climas templados y su distribución en México comprende los estados como: Jalisco, Estado de México, Distrito Federal, Estado de Morelos, Michoacán, Durango, San Luis Potosí, Tamaulipas, Puebla Veracruz, Tlaxcala, Hidalgo, Oaxaca, Guerrero, Chiapas y Nuevo León. Con un hábitat entre los 1600 a 3200 msnm, encontrándose los arboles más altos entre los 2000 y 2400 msnm (Tapia, 1998).

***Quercus laurina* Humb & Bonpl**

Familia: Fagaceae

Su nombre común es Encino blanco y los árboles llegan a medir alturas de 10 a 25 m, con ramillas delgadas y hojas rígidas que van de color verdes a ligeramente cafés, con bellotas de forma ovoide de 15 a 20 mm de largo por 15 a 17 mm de diámetro. Sus usos más comunes son para leña, carbón, fabricación de cercas, cabos para herramientas y arados. Se encuentra en barrancas, en bosques de encino, pino-encino, mesófilo de montaña y de coníferas con una altitud de 1500 a 3200 msnm en suelos arenosos pedregosos profundos. Se encuentra distribuido en los Estados de Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco,

México, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Tlaxcala y Veracruz (Chávez, 2014).

***Eucalyptus camaldulensis* Dehn**

Familia: Mirtaceae

El nombre común con que se le conoce a esta especie en Michoacán es el de Gigante, siendo conocido en Australia con el nombre de Murry red gum o “red gum” por referirse al color rojo que presenta su madera, también conocido como eucalipto rojo. Su desarrollo se da en climas con condiciones tropicales con temperaturas máximas de verano de 35°C y mínimas de 3°C en invierno. Crece en tierras húmedas, con subsuelos arcillosos, así como en suelos arenosos con buena drenabilidad. Los árboles alcanzan alturas de 20 m o más y diámetros de hasta 2 m presentando troncos fustes largo y derechos de corteza caduca y hojas juveniles más anchas que las adultas (Ortega, 2005).

***Alnus acuminata* H.B.K.**

Familia: Betulaceae

Esta especie es considerada de gran importancia para la restauración de suelos degradados (SIRE). Se conoce con el nombre común de Aile, Ailite, Aliso, Abedul, Tepamo, Palo de águila. Esta especie presenta un árbol con alturas de 10 a 30 m con diámetros que van de 30 a 55 cm y fustes cilíndricos de corteza de color gris o café grisácea lisa o ligeramente rugosa. Con ramillas glabras, hojas con peciolo de 0.5 a 3.5 cm de largo. Su hábitat se encuentra en clima templado a lo largo de los arroyos. Los principales usos que se le dan a la madera de esta especie es para la elaboración de muebles, contrachapados, almás (centros) para contrachapados, chapa, artesanías, utensilios domésticos, mangos para paraguas, partes de instrumentos musicales, cabos para herramientas, juguetes, tallados, puertas, ventanas, marcos, lápices, carbón y leña (Espinoza, 1996).

5.3.- Material base y clasificación de *Pinus pseudostrobus* L.

La astilla residual de la madera de pino (*Pinus pseudostrobus* L.) se obtuvo de la empresa SCRIBE en la planta Morelia. La astilla residual se tamizó en una Zaranda para obtener longitudes de 25 a 35 mm de largo y de 3 a 7 mm de espesor, de acuerdo a lo establecido por Sanjuán (1997).



Figura 6.- Astilla de *Pinus pseudostrobus* L.



Figura 7.- Zaranda

5.4.- Cocción de fibras y análisis del licor

Las cocciones de las fibras se realizaron en un digestor tipo bath rotatorio. Se utilizaron cargas de 200g de astilla húmeda, con una sulfidez de 20 % y un álcali activo (Na_2O) de 96-100 g/L a una relación de baño de 4:1. El proceso inicial de cocción se realizó a una presión de 2.5 kg/cm^2 , temperatura de 140°C , y un período de 20 minutos para lograr la penetración del licor, al finalizar el tiempo se modificó la temperatura y carga de álcali durante el tiempo señalado en la Tabla 1. Posteriormente se enfriaron las fibras a temperatura ambiente para evitar un sobrecalentamiento (Sanjuán, 1993).

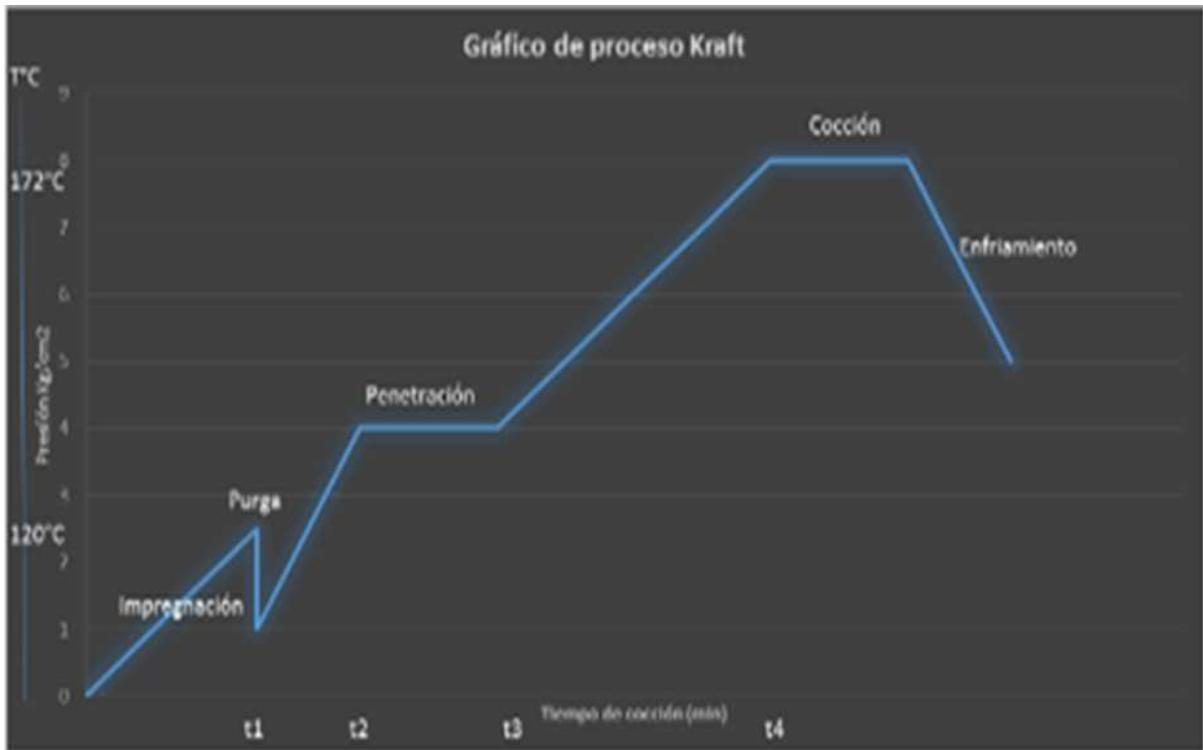


Figura 8.- Proceso de Cocción Kraft

El licor de cocción se analizó con el método de potenciómetro (Sanjuán, 1993). Los cálculos respectivos se reportaron como Na_2O en g/L (Libby, 1980).

Tabla 1.- Tratamientos realizados para la cocción de las fibras de *Pinus pseudostrobus* L.

Trat.	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Carga (%)
1	165	40	18
2	165	40	22
3	165	80	18
4	165	80	22
5	175	40	18
6	175	40	22
7	175	80	18
8	175	80	22

5.5.- Preparación de la pulpa

El lavado de la pulpa Kraft se realizó con un tamiz de metal con una apertura de 2.00 mm y abundante agua corriente, hasta la eliminación de casi la totalidad del licor residual.



Figura 9.- Pulpa de *P. pseudostrobus*

La desintegración se realizó en un pulper de laboratorio, a una velocidad de 2700 rpm, por espacio de un minuto, para evitar el destrozo de las fibras.



Figura 10.- Lavado de pulpa



Figura 11.- Desintegración

El depurado se realizó en un depurador de laboratorio, de forma cilíndrica provisto de un agitador para agilizar la disolución de la pulpa en el agua.

El homogeneizado de la pulpa se realizó a 250 rpm.

Los rechazos, fueron secados en estufa y cuantificados gravimétricamente.



Figura 12.- Depurado



Figura 13.- Homogeneizado



Figura 14.- Rechazos

5.6.- Análisis de la pulpa Kraft

La pulpa celulósica se analizó utilizando las normas presentadas en la Tabla 2.

Tabla 2.- Normas de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y Papel (TAPPI) empleadas para analizar la pulpa de *Pinus pseudostrobus* L.

Análisis de pulpa		
Prueba		Norma
1.- Rendimiento		T 240 om-93
2.- No. de Kappa		T 236 om-85
3.- Rechazos		T 204 om-88
4.- Análisis de licor residual		Método potenciométrico

5.7.- Diseño experimental

Los resultados obtenidos fueron analizados bajo un diseño experimental factorial 2^3 usando un programa Statgraphics. El factor A: temperatura máxima, factor B: tiempo de cocimiento y factor C: carga de reactivos. Para determinar si hay diferencia significativa entre tratamientos, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza de 95 % (Montgomery, 1991). Adicionalmente se realizaron gráficas de Pareto para determinar el valor exacto de los factores temperatura, tiempo y carga de álcali que magnifican o minimizan las variables respuesta.

5.8.- Material base y clasificación de *Q. laurina* y *E. camaldulensis*

La astilla de la madera de *Q. laurina* y *E. camaldulensis* se obtuvo de la empresa SCRIBE en su planta de Morelia. La astilla se tamizó en una zaranda para obtener longitudes de 25 a 35 mm y espesores de 3 a 7 mm de acuerdo a lo establecido por Sanjuán, (1997).



Figura 15.- Astilla de *Q. laurina*



Figura 16.- Astilla de *E. camaldulensis*

5.9.- Cocción de fibras y análisis de licor

Los procesos de pulpeo se realizaron en un digestor tipo bath rotatorio. Se utilizaron cargas de 200 g de astilla húmeda, con una sulfidez de 20 % y un álcali activo (Na_2O) de 96-100 g/L a una relación de baño de 4:1 con un diseño factorial 2^3 . El proceso inicial de cocción se realizó a una presión de 2.5 kg/cm^2 , temperatura de 140°C , y un período de 20 minutos para lograr la penetración del licor. Al finalizar el tiempo la temperatura y carga de álcali se modificaron de acuerdo a los parámetros para mejorar las variables monitoreadas.

El licor de cocción se analizó con el método de potenciómetro (Sanjuán, 1993). Los cálculos respectivos se reportaron como Na_2O en g/L (Libby, 1980). La Tabla 3 muestra los tratamientos utilizados para ambas especies.

Tabla 3.- Matriz de diseño para las cocciones de *Q. laurina* y *E. camaldulensis*.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Carga (%)
1	165	40	18
2	165	40	22
3	165	80	18
4	165	80	22
5	175	40	18
6	175	40	22
7	175	80	18
8	175	80	22

5.10.- Preparación de la pulpa

El lavado de la pulpa Kraft se realizó con un tamiz de metal con una apertura de 2 mm y abundante agua corriente, hasta la eliminación de casi la totalidad del licor residual.

La desintegración se realizó en un pulper de laboratorio, a una velocidad de 2700 rpm, durante un minuto para evitar el destrozo de las fibras.

La depuración se realizó en un depurador de laboratorio, de forma cilíndrica provisto de un agitador para agilizar la disolución de la pulpa en el agua. El homogeneizado de la pulpa se realizó a 250 rpm. Los rechazos, fueron secados en estufa y cuantificados gravimétricamente.



Figura 17.- Pulpa de *Q. laurina*



Figura 18.- Pulpa de *E. camaldulensis*

5.11.- Análisis de pulpa Kraft

La pulpa celulósica se analizó utilizando las normas presentadas en la Tabla 4.

Tabla 4.- Normas de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y Papel (TAPPI) empleadas para analizar la pulpa de *Q. laurina* y *E. camaldulensis*.

Análisis de pulpa	
Prueba	Norma
1.- Rendimiento	T 240 om-93
2.- No. de Kappa	T 236 om-85
3.- Rechazos	T 204 om-88
4.- Análisis de licor residual	Método potenciométrico (Sanjuán 1993)

5.12.- Diseño experimental

Los resultados se analizaron bajo un diseño experimental factorial 2^3 usando un programa Statgraphics. El factor A: temperatura máxima (165 y 170°C), factor B: tiempo de cocimiento (40 y 80 minutos) y factor C: carga de reactivos (18 y 22 %). Para determinar la existencia de diferencia significativa entre tratamientos, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza de 95 % (Montgomery, 1991).

5.13.- Material base de *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata*

La astilla de la madera de *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* fueron obtenidas de la empresa SCRIBE planta Morelia mientras que la madera de *A. acuminata* fue obtenida de la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro. Se tamizaron en una zaranda para obtener longitudes de 25 a 35 mm y espesores de 3 a 7 mm de acuerdo a lo establecido por Sanjuán, (1997).

5.14.- Análisis del licor

El licor de cocción (licor blanco) se analizó con el método de potenciómetro (Sanjuán, 1993). Los cálculos respectivos se reportaron como Na_2O en g/L (Libby, 1980).

5.15.- Cocciones

Las cocciones de las fibras se realizaron en un digestor tipo bath rotatorio. Se utilizaron cargas de 500g de astilla húmeda, con una sulfidez de 20 % y un álcali activo (Na_2O) de 96-100 g/L a una relación de baño de 4:1 para *P. pseudostrobus*, y 3:1 para *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata*. El proceso inicial de cocción se realizó a una presión de 2.5 kg/cm^2 , temperatura de 140°C , y un período de 20 minutos para lograr la penetración del licor blanco (licor de cocción), posteriormente en la etapa de cocimiento la temperatura se ajustó de acuerdo a la maximización señalada modificándose también el tiempo de durabilidad del proceso. Al finalizar se enfrió el equipo a temperatura ambiente. Al abrir el digestor se separó el licor residual generado durante la cocción para posteriormente ser analizado (Sanjuán, 1993).



Figura 19.- Digestor rotatorio



Figura 20.- Digestor tipo bath

5.16.- Preparación de la pulpa

El lavado de las pulpas Kraft se realizó con un tamiz de metal con una apertura de 2.00 mm y abundante agua corriente, hasta la eliminación de casi la totalidad del licor residual.

La desintegración se realizó en un pulper de laboratorio, a una velocidad de 2700 rpm, por espacio de un minuto, para evitar el destrozo de las fibras.

El depurado se realizó en un depurador de laboratorio, de forma cilíndrica provisto de un agitador para agilizar la disolución de la pulpa en el agua.

El homogeneizado de la pulpa se realizó a 250 rpm.

Los rechazos, fueron secados en estufa y cuantificados gravimétricamente.

5.17.- Condiciones de operación de la cocción

Tabla 5.- Tratamientos maximizados realizados para la cocción de las fibras de *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Alnus acuminata* H.B.K. con una repetición.

Especie	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Carga (%)
<i>Pinus</i>	161.6	40.5	23.4
<i>Quercus</i>	171.5	93.6	20.6
<i>Eucalyptus</i>	174.1	53.8	16.6
<i>Alnus</i>	170	90	20

5.18.- Técnicas utilizadas para determinar las variables

La pulpa celulósica se analizó utilizando las normas presentadas en la Tabla 6.

Tabla 6.- Normas de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y Papel (TAPPI) empleadas para analizar la pulpa de *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata*.

Análisis de pulpa	
Prueba	Norma
1.- Rendimiento	T 240 om-93
2.- No. de Kappa	T 236 om-85
3.- Rechazos	T 204 om-88
4.- Análisis de licor residual	Método potenciométrico

5.19.- Diseño de experimentación

La determinación de la existencia de la diferencia significativa entre tratamientos, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza de 95 % (Montgomery, 1991) usando un programa Statgraphics trabajando con los siguientes factores: factor A: temperatura máxima, factor B: tiempo de cocimiento máximo y factor C: carga de reactivo. Adicionando gráficas de efectos principales y tablas de rangos múltiples de las cuatro especies.

6.- RESULTADOS

6.1.- Rendimiento para *P. pseudostrobus* L.

Los rendimientos obtenidos en el presente estudio van del 37 al 52 % (ver Tabla 7) El análisis de varianza mostró que no hay diferencias significativas entre temperaturas, tiempo y cargas ($p > 0.05$) (ver Tabla 13 en el anexo) y las interacciones temperatura*carga presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tabla 7.- Rendimiento, números de Kappa, rechazos y álcalis residuales de cocciones de *Pinus pseudostrobus* L. a diferentes temperaturas, tiempos de residencia y cargas.

Trat.	Temperatura (°C)	tiempo (min)	Carga (%)	Rendimiento (%)	No. de Kappa	Rechazos (%)	Álcali Residual (g/L)
1	165	40	18	39.58	23.01	4.55	8.8
2	165	40	22	52.39	15.79	12.97	7.6
3	165	80	18	49.98	40.04	16.86	6.0
4	165	80	22	44.20	24.65	25.47	6.6
5	175	40	18	38.10	15.83	20.03	10.1
6	175	40	22	39.72	30.96	31.00	12.0
7	175	80	18	44.80	35.22	20.34	9.3
8	175	80	22	37.10	19.03	10.04	11.1

6.2.- Número de Kappa

Los valores del número de Kappa presentan un rango del 15.79 al 40.04 (Tabla 7).



Figura 21.- número de Kappa

6.3.- Rechazos

Para el caso de los rechazos el valor más bajo presentado en este trabajo fue de 4.55 % seguido de un 10.04 % (Tabla 7).



Figura 22.- Rechazos

6.4.- Carga de álcali

El álcali residual presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) en temperatura (ver Tabla 16 en el anexo), valor menor fue de 6.0 g/L a un tiempo de 80 minutos.

6.5.- Efecto de las variables tiempo, temperatura y carga

El rendimiento de la pulpa estuvo en relación de la combinación de los factores carga y tiempo y el factor tiempo tuvo efecto en forma individual (ver Figura 23).

El número de Kappa estuvo influenciado por los tres factores (Figura 23) siendo el factor carga el que presentó mayor influencia sobre esta variable.

En los rechazos la carga tuvo la mayor influencia seguida de la combinación de la temperatura y el tiempo (ver Figura 23).

Mientras que en la Figura 23 se observa que la temperatura es el factor de mayor influencia sobre la variable de respuesta álcali residual, el factor tiempo es el segundo con mayor influencia sobre la variable ya mencionada.

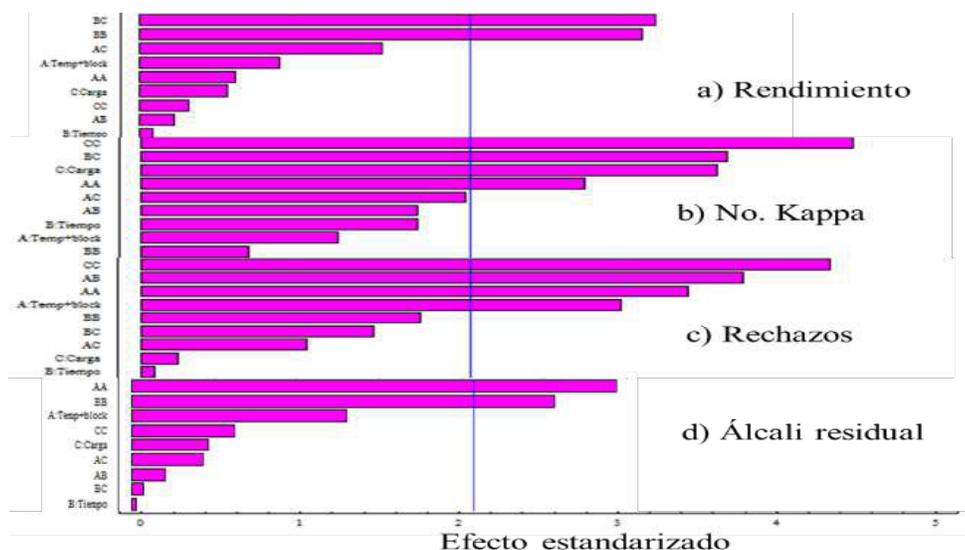


Figura 23.- Gráficas de Pareto de las variables de pulpa de *Pinus pseudostrobus* L.

6.6.- Superficie de respuesta

La superficie de respuesta para la variable rendimiento presenta que el factor temperatura a 167°C y el tiempo aproximado de 50 minutos representan un incremento en el rendimiento (Figura 24). Sin embargo, en los números de Kappa se minimizan al emplear 170 °C y tiempos menores de 30 minutos (ver Figura 24).

En la Figura 1 se observa que los porcentajes de rechazos tienden a ser menores cuando se utiliza una temperatura de 160 °C y un tiempo menor de 25 minutos. La superficie de álcali residual indica que, para disminuir los valores, la temperatura debe de ser 170 °C con un tiempo de 55 minutos a una carga de 20 % (ver Figura 24).

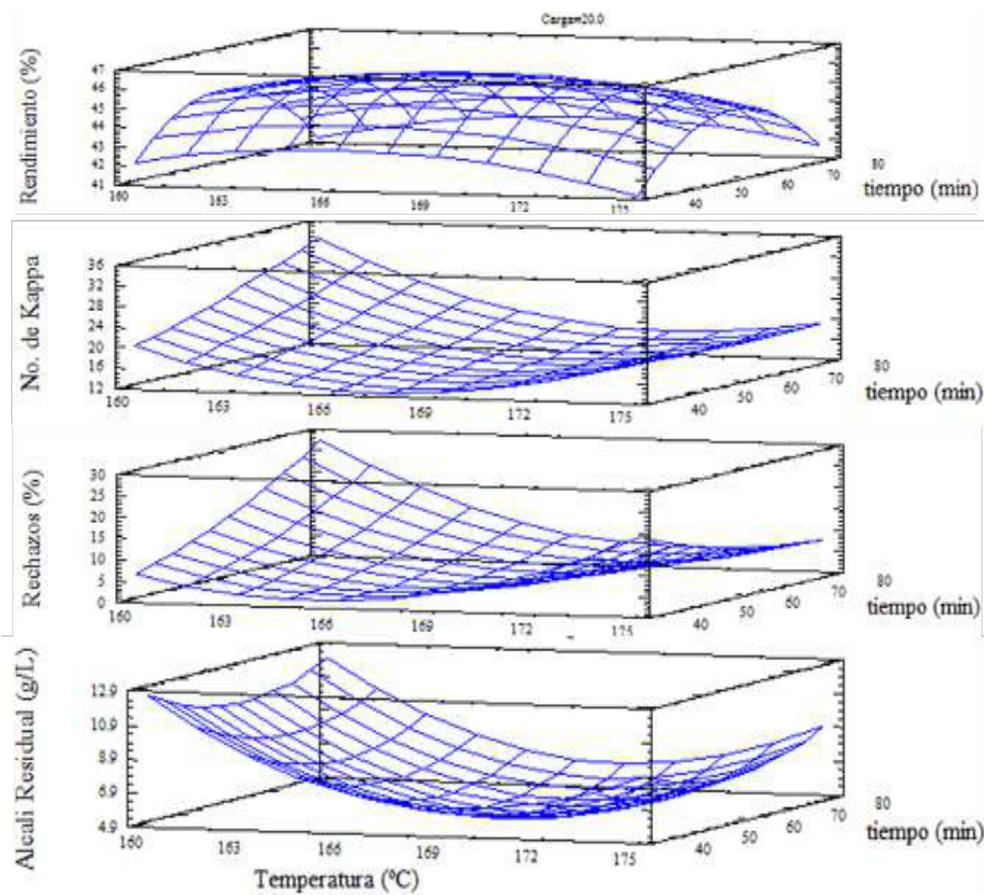


Figura 24.- Superficie de respuesta con respecto al rendimiento, número de Kappa, rechazos y álcali residual de pulpa de *P. pseudostrobus* L.

6.7.- Rendimiento de *Q. laurina* y *E. camaldulensis*

Los rendimientos de *Quercus laurina* fueron de 33.81 al 43.76 % (ver Tabla 8) y presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.001$) para el factor carga (ver Tabla 17 en el anexo). Los rendimientos para *Eucalyptus camaldulensis* fueron del 39.53 al 49.21 % (ver Tabla 8) y mostraron que no hay diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre los factores ni las interacciones analizadas (ver Tabla 5).

6.8.- Número de Kappa

El análisis de varianza de los valores de números de Kappa con un nivel de confianza de 95 % mostraron que en *Q. laurina* hay diferencias significativas en la temperatura ($p < 0.05$) y carga ($p < 0.001$) (ver Tabla 17 en el anexo).

6.9.- Rechazos

Los valores de los rechazos de *Q. laurina* presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el factor carga y en la interacción del Tiempo*Carga (ver Tabla 17 en el anexo). El rango fue de 7.69 a 14.39 %. Los valores para *E. camaldulensis* presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las interacciones Temperatura*Tiempo y Temperatura*Carga (ver Tabla 18 en el anexo). El rango de rechazos fueron de 1.12 a 21.48 % (ver Tabla 8).

6.10.- Álcali residual

Para el caso de los álcalis residuales para *Q. laurina* no hubo diferencias estadísticas significativas entre los factores analizados ni en las interacciones ($p > 0.05$). Los valores se encuentran entre 6 y 10. Los valores para *E. camaldulensis* no presentaron diferencias significativas entre los factores analizados ni en las interacciones ($p > 0.05$). El valor más alto que se presentó fue de 14.6 g/L (ver Tabla 8).

Tabla 8.- Rendimientos, números de Kappa, rechazos y álcalis residual de cocciones de *Q. laurina* y *E. camaldulensis* (Q/E) a diferentes temperaturas, tiempos de cocción y cargas.

Trat.	Temperatura (°C)	tiempo (min)	Carga (%)	Rendimiento (%) Q/E	No. de Kappa Q/E	Rechazos (%) Q/E	Álcali Residual (g/L) Q/E
1	165	40	18	40.30/42.04	24.40/15.45	8.85/10.49	6.6/8.3
2	165	40	22	40.48/40.89	16.51/8.42	7.69/1.12	7.6/10.1
3	165	80	18	38.20/39.53	25.03/14.60	8.91/7.07	9.7/10.7
4	165	80	22	43.76/39.78	23.44/16.80	12.12/7.99	9.3/12.0
5	175	40	18	33.81/49.11	32.07/11.48	14.39/7.27	8.0/12.7
6	175	40	22	41.29/46.14	19.6/11.45	7.91/4.04	9.0/14.6
7	175	80	18	41.49/49.21	28.0/18.31	8.71/8.87	9.2/10.4
8	175	80	22	36.8/47.30	20.0/13.93	13.10/19.68	10.0/13.8

6.11.- Efecto de las variables

Las gráficas de Pareto (ver Figura 25) muestran que el rendimiento de la pulpa de *Q. laurina* estuvo influenciado por los factores carga y temperatura, la carga presentó la mayor influencia. Para *E. camaldulensis* ninguno de los factores presentaron efecto.

Los valores de los números de Kappa de *Q. laurina* se vieron influenciados por el tiempo, temperatura y carga. El tiempo fue el factor con mayor influencia. Para *E. camaldulensis* el único factor que tuvo influencia fue la carga (ver Figura 25). En los rechazos la combinación del tiempo-carga tuvieron influencia en ambas especies (Figura 25). Aunque para el caso de *Q. laurina* la carga fue el factor que tuvo la mayor influencia. Para el caso del álcali residual sólo hubo influencia de las combinaciones tiempo-tiempo y temperatura-temperatura en *Q. laurina* ya que para el caso de *E. camaldulensis* ninguno de los factores influyeron, sólo el factor carga tendió a presentar influencia (ver Figura 25).

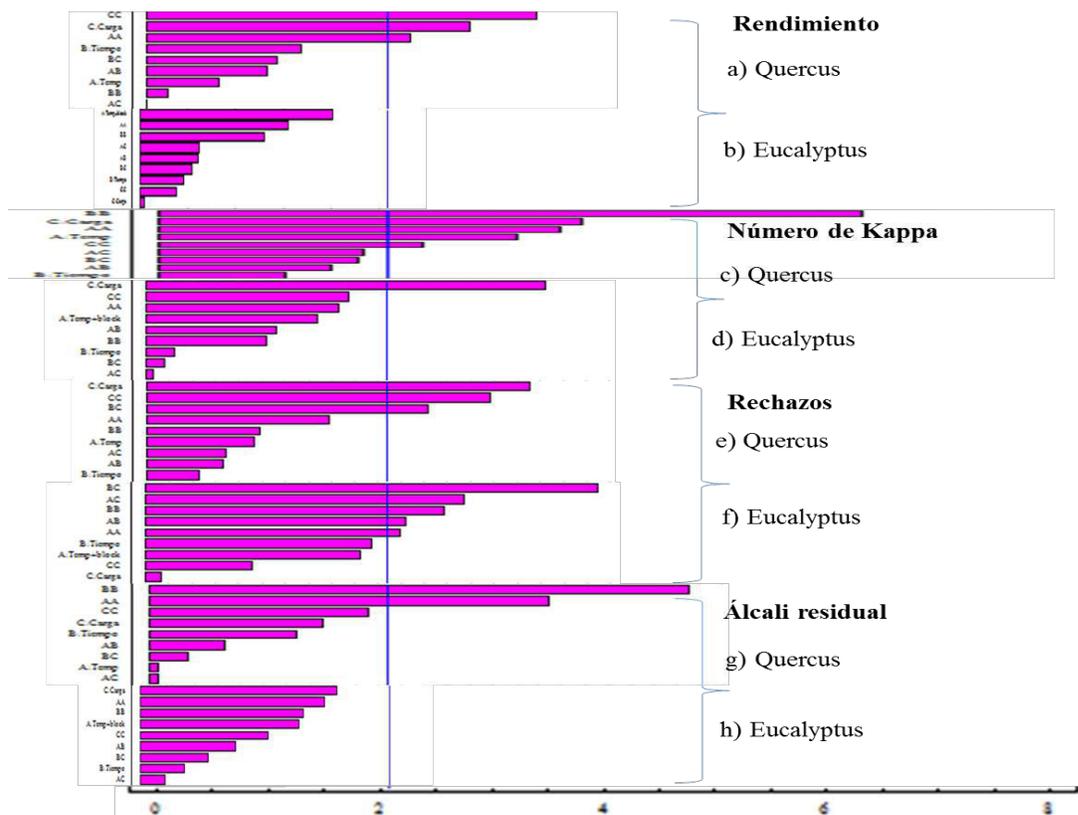


Figura 25.- Gráficas de Pareto de las variables de pulpa de *Quercus laurina* y *Eucalyptus camaldulensis*.

6.12.- Superficie de respuesta

En la figura 2 se observa que el rendimiento máximo (50.4 %) para el caso de *Q. laurina* se obtiene al llevar a cabo la cocción a 172°C y un tiempo aproximado de 80 minutos (a). Mientras que para *E. camaldulensis* (ver Figura 26b) el mayor rendimiento se presenta a una temperatura de 175°C y tiempo de 40 minutos (ver Figura 26).

Los números de Kappa para *Q. laurina* en la misma Figura 26c se minimizan al emplear una temperatura de 169°C y tiempo de 50 minutos en *E. camaldulensis* (d) fue similar la temperatura y con un tiempo de 10 minutos menor con respecto a *Quercus*.

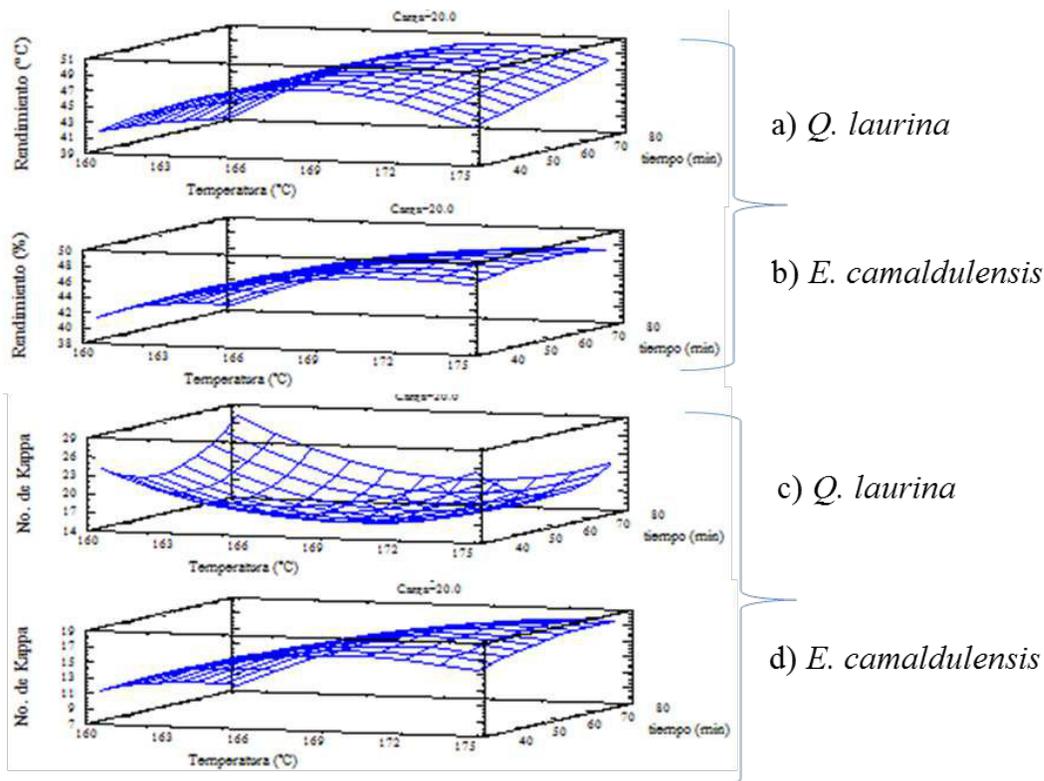


Figura 26.- Superficie de respuesta para el rendimiento y el número de Kappa de pulpa de *Quercus laurina* y *E. camaldulensis*.

Para minimizar la cantidad de rechazos generados en el proceso de cocción de *Q. laurina* y *E. camaldulensis*, se encontró que la temperatura debe ser 169°C y 40 minutos de cocimiento (Figura 27a y 27b).

Para minimizar la cantidad de álcali residual en el licor negro después del proceso de cocción se observó una similitud del factor temperatura entre las 2 especies (Figura 27) a una temperatura de 170°C, sólo que en el tiempo *Q. laurina* (d) muestra una diferencia de 10 minutos aproximadamente, la cual está en 50 minutos para *Quercus* y en 60 minutos para *Eucalyptus* (Figura 27c).

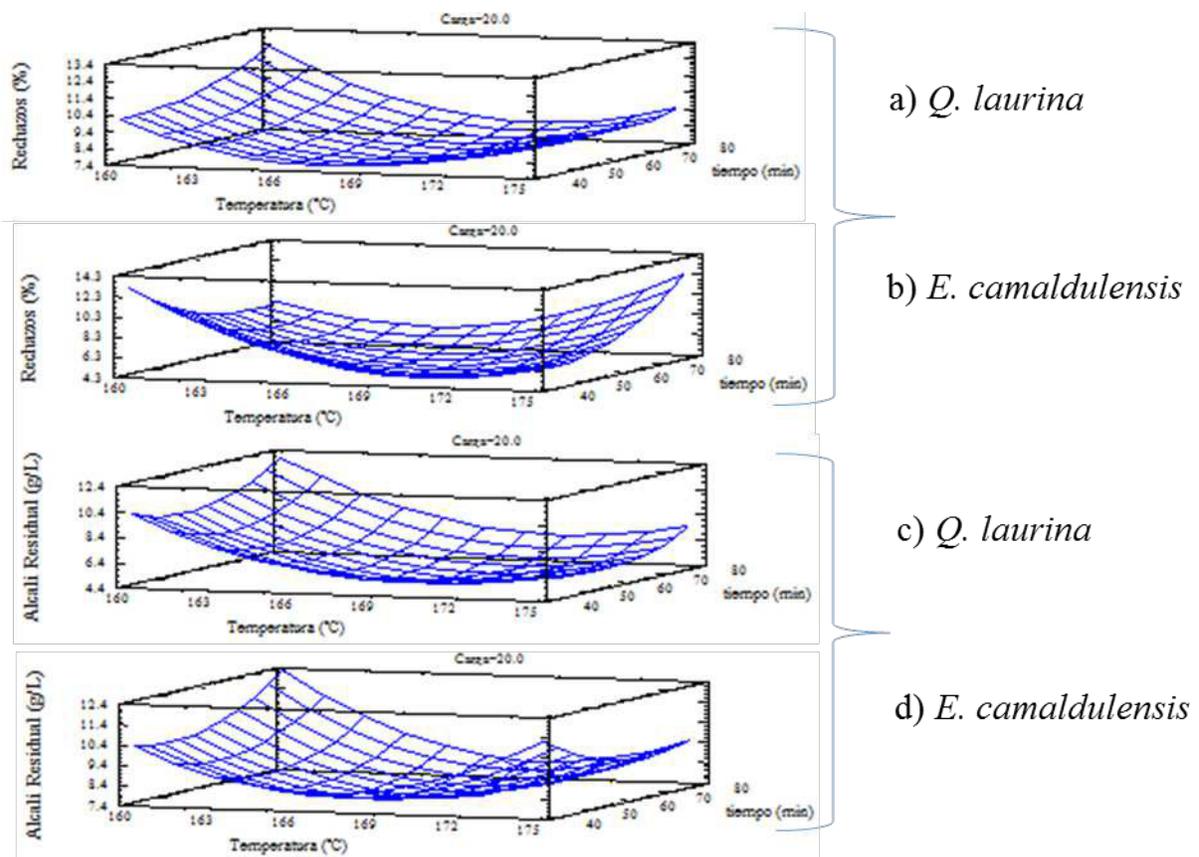


Figura 27.- Superficie de respuesta con respecto a los rechazos y álcali residual de pulpa de *Q. laurina* y *E. camaldulensis*.

6.13.- Rendimientos de *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *Alnus acuminata*.

Una vez cuantificado el rendimiento del pulpeo en las especies se encontró que el máximo rendimiento de pulpa se produjo en la especie *A. acuminata* (47.2 %) seguido de la obtenida con *P. pseudostrobus* de 44.6 %. *A. acuminata* presentó el menor porcentaje de rechazos (ver Tabla 9).



Figura 28.- Astilla de *Alnus acuminata*



Figura 29.- Pulpa de *Alnus acuminata*

Tabla 9.- Rendimiento, Números de Kappa, rechazos y álcalis residuales de cocciones de *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata* a maximizaciones de temperaturas, tiempos de cocción y cargas de reactivo.

Tratamiento	Temperatura (°C)	tiempo (min)	Carga (%)	Rendimiento (%)	No. de Kappa	Rechazos (%)	Álcali Residual (g/L)
<i>Pinus</i>	161.6	40.5	23.4	44.57	29.01	6.3	42.6
<i>Pinus</i>	161.6	40.5	23.4	40.37	30.18	7.6	45.6
<i>Quercus</i>	171.5	93.6	20.6	38.59	16.85	4.46	30.6
<i>Quercus</i>	171.5	93.6	20.6	38.89	22.67	4.19	33.8
<i>Eucalyptus</i>	174.1	53.8	16.6	41.64	19.39	10.54	28.5
<i>Eucalyptus</i>	174.1	53.8	16.6	43.37	18.08	11.14	29.3
<i>Alnus</i>	170	90	20	47.16	20.32	1.83	27.0
<i>Alnus</i>	170	90	20	42.18	22.11	1.25	26.8

En el caso de los rendimientos obtenidos (Tabla 9) presenta que en el ANOVA entre las cuatro especies no hay diferencia estadística ($p > 0.05$) siendo este de 0.2389. Sin embargo, para el número de Kappa si presentaron diferencia estadística ($p < 0.05$). El análisis de varianza (Tabla 19 anexo) muestra que si hay diferencia estadística ($p < 0.05$) para los rechazos y álcali residual.

7.- DISCUSIÓN

Maximización y minimización de las variables de calidad para *P. pseudostrobus*

La maximización del rendimiento se tendrá a una temperatura de 161°C, tiempo de 40 minutos y una carga de 23 % (Tabla 10). El rendimiento es mayor al reportado por Díaz, (2012) de la pulpa Kraft de astillas de *Pinus radiata* III (44 a 50.6 %).

Por otra parte, la minimización del número de Kappa se logra a una temperatura de 166 °C, cargas de 19 % y 26 minutos de tiempo de cocción (Tabla 10).

Tabla 10.- Maximización de Rendimiento y Minimización de Número de Kappa, Rechazos y Álcali Residual.

Variables de Respuesta	Factores Óptimos			Maximización y Minimización
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Carga (%)	
Rendimiento	161.6	40.5	23.4	54.8 (Maximización)
Número de Kappa	166.8	26.4	19.5	11.2 (Minimización)
Rechazos	162.8	26.3	18.9	00.6 (Minimización)
Álcali Residual	169.2	60.1	19.5	4.90 (Minimización)

En la Tabla 10 se muestra que el mayor rendimiento será de 54 % con un número de Kappa de 11.28. Rigatto *et al.*, (2004) en el trabajo realizado de la influencia de los atributos sobre la calidad de la madera de *Pinus taeda* para la producción de celulosa Kraft presentaron rendimientos de 48.56 a 50.69 % números de Kappa de 30.85 a 31.47 siendo estos últimos mayores a los obtenidos en este trabajo. Mientras Gomes *et al.*, (1999) reportaron rendimientos del 59 % con la utilización de aditivos como la antraquinona en el proceso de pulpeo en *Pinus taeda* y *P. elliottii*. Por otro

lado Rodríguez y Torres (1992) encontraron rendimientos de 40 a 46 % de pulpa Kraft a partir de *P. patula*, *P. taeda* y *P. elliottii* crecidos en Chile.

Presentando índices de Kappa fueron de 20 a 40 superiores a 9.8 y 10.4 reportados por Andrade *et al.*, (2013) de dos pulpas kraft de *Pinus*, y superiores también al valor promedio de 10.6 reportado por Arias, (2001) de celulosa de alta blancura a partir de Pino y Eucalipto. Valores también elevados (30) fueron reportados por Torres *et al.*, (2005) para *Pinus tecunumanii* considerado que se empleó astillas de árboles de 12 años. Por otra parte Kibblewhite (1984) reporta un menor rango en el número de Kappa de 26 a 29 de pulpa Kraft de *Pinus radiata*.

La minimización de la variable de respuesta rechazos se presenta con tiempos de cocción de 26 minutos, temperatura de 162 °C y carga de 19 %. Y para el caso del álcali residual (Tabla 10) hay una similitud en la carga con 19.5 % y una temperatura de 169°C pero con el doble del tiempo de cocción (60 minutos).

Los valores comparados con los reportados por Rodríguez y Torres, (1992) son mayores a 0.4 % reportado para *P. elliottii* y *P. taeda*. Sin embargo, Rodríguez y Torres, (1992) reportan que los consumos aumentaron en un 25 % para *P. patula* y un 12 % para *P. elliottii* al prolongar el tiempo de 30 a 60 minutos.

Maximización y minimización de las variables de calidad para *Q. laurina* y *E. camaldulensis*

La maximización de los rendimientos de *Q. laurina* y *E. camaldulensis* son casi similares (Tabla 11), sin embargo, existen diferencias en las condiciones de los factores. La temperatura para *Q. laurina* fue a 171.5°C y para *E. camaldulensis* 174.1°C.

El mayor rendimiento fue similar al reportado por Silva, (2004) con madera de *Eucalyptus spp.* (53.1 %) utilizando pulpeo alcalino, mientras que Gomes, (2009) reporta un rendimiento de 51.9 % al trabajar con *Eucalyptus* de diferentes especies.

La minimización del número de Kappa se logra para *Q. laurina* a una temperatura de 168.9°C, mientras que para *E. camaldulensis* es a 172.6°C presentándose en este último un valor de 18.9 cercano al que reporta Aguayo, (2012) al trabajar con *E. globulus* con un valor de 16 de número de Kappa al trabajar con el mismo tipo de proceso (Tabla 11).

Los valores de Número de Kappa fueron de 8.42 a 18.31 (Tabla 8) siendo estos bajos comparados con los presentados por Juacida, (2002) quien trabajó con *Quercus spp.* cuyo índice de Kappa fue de 22. Los valores para *E. camaldulensis* (Tabla 18 anexo) mostraron que no hay diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre los factores ni las interacciones analizadas. Los valores fueron relativamente altos comparados a los reportados por Andrade (2013) de pulpas Kraft de *Eucalyptus spp.*, quien obtuvo valores de 7.9 a 10.8.

Los rechazos minimizados en la Tabla 6 muestran que *E. camaldulensis* presenta un menor porcentaje con respecto a *Q. laurina*, sin embargo en el caso del Alkali residual el *Q. laurina* es menor comparado con lo que muestra *E. camaldulensis* (Tabla 11).

Tabla 11.- Maximización de rendimiento y minimización de número de Kappa, rechazos y álcali residual de *Q. laurina* y *E. camaldulensis* (Q/E).

Variables de Respuesta	Factores Óptimos (Q/E)			Maximización y Minimización (Q/E)
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Carga (%)	
Rendimiento	171.5/174.1	93.6/53.8	20.6/16.6	50.4/49.9 (Max.)
Número de Kappa	168.9/172.6	59.1/69.5	21.1/18.3	13.5/18.9 (Min.)
Rechazos	168.2/166.2	26.3/33.3	22.3/23.3	6.0/3.53 (Min.)
Álcali Residual	169.8/168.1	57.4/63.1	19.3/18.5	4.3/7.0 (Min.)

Efectos principales para *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata*

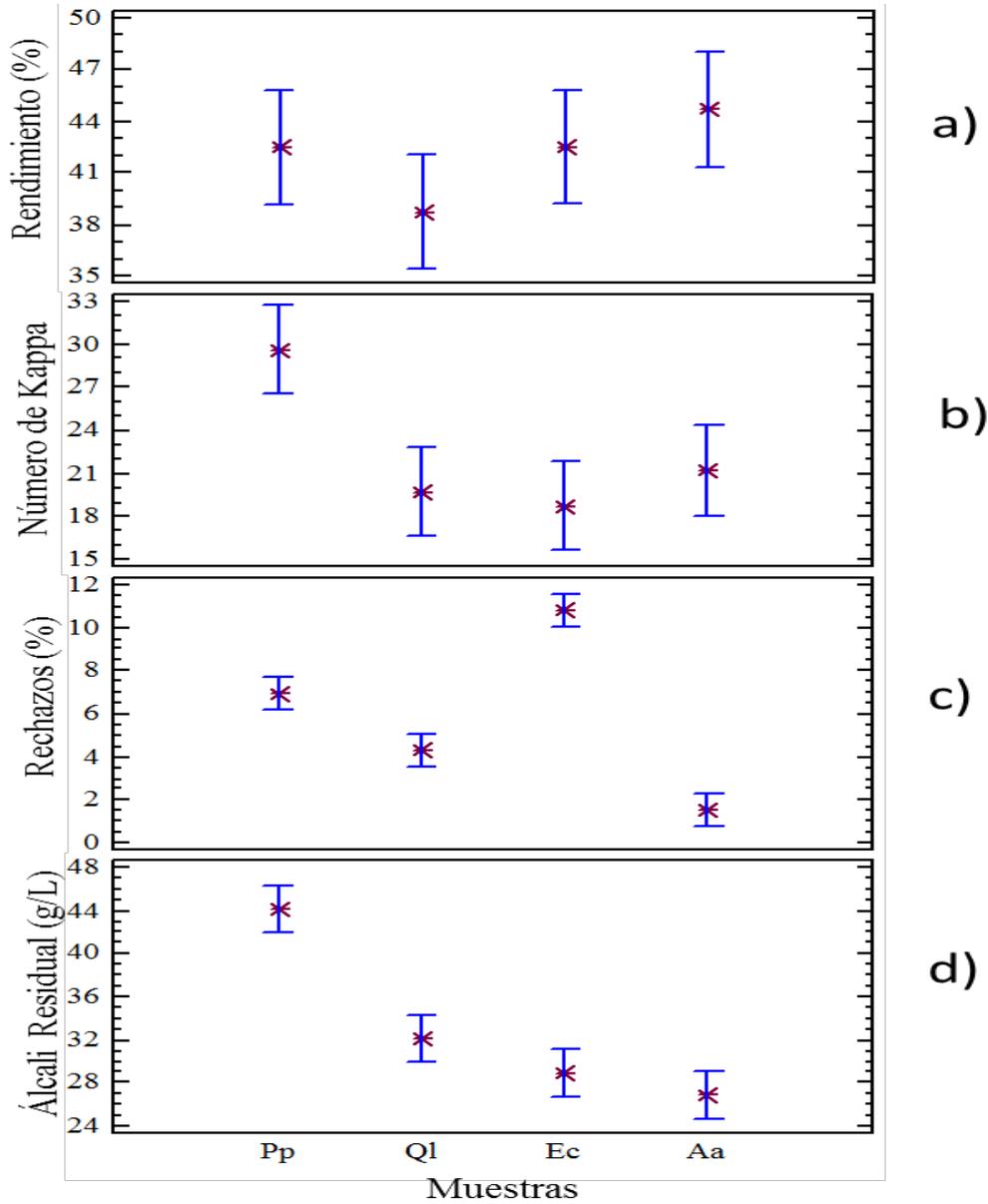


Figura 30.- Efectos principales de las especies *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata* con las cuatro variables de respuesta.

La Figura 30 muestra que no hay efecto significativo para el caso de la variable rendimiento (a) sin embargo de las cuatro especies utilizadas la madera de *A. acuminata* presentó un mejor rendimiento de 44.7 %, presentando *Q. laurina* (Ql) un menor porcentaje en esta variable de 38.7 %.

En la Figura 30 (b) se muestra que no hay efecto estadísticamente significativo entre las especies *Q. laurina*, *E. camaldulensis* (Ec) y *A. acuminata* (Aa), sin embargo, con respecto a *P. pseudostrobus* (Pp) si existe efecto significativo para el número de Kappa.

Para el caso de la variable rechazos se presenta en la Figura 1 (c) que si existe efecto significativo entre las cuatro especies, donde *A. acuminata* presenta el menor porcentaje de rechazos de 1.5 %.

En la variable álcali residual Figura 30 (d) se presenta que no hay efecto significativo entre las especies *Q. laurina* (Ql), *E. camaldulensis* (Ec) y *A. acuminata* (Aa). Presentando que con respecto a *P. pseudostrobus* (Pp) si hay efecto estadísticamente significativo.

Rangos múltiples

Tabla 12.- Rangos múltiples de *P. pseudostrobus*, *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata*

Madera	Temperatura (°C)	tiempo (min)	Carga (%)	Rendimiento medio (%)	No. de Kappa medio	Rechazos medio (%)	Álcali Residual medio (g/L)
<i>Pinus</i> (Pp)	161.6	40.5	23.4	42.47 (a)	29.59 (b)	6.95 (a)	44.1 (a)
<i>Quercus</i> (Ql)	171.5	93.6	20.6	38.74 (a)	19.76 (a)	4.325 (b)	32.15 (ab)
<i>Eucalyptus</i> (Ec)	174.1	53.8	16.6	42.50 (a)	18.73 (a)	10.84 (c)	28.9 (b)
<i>Alnus</i> (Aa)	170	90	20	44.67(a)	21.21 (a)	1.54 (d)	26.9 (d)

La tabla 12 de rangos múltiples sobre las cuatro especies estudiadas nos indica que para la variable rendimiento no existe diferencia estadística. Reportado en este trabajo que el 38.74 % representa el rendimiento más bajo y corresponde a *Q. laurina* seguido de un rendimiento de 42.47 % de rendimiento en *P. pseudostrobus*.

Por otro lado, se presenta que para el número de Kappa hay una diferencia estadística con respecto a *P. pseudostrobus* (Pp). Sin embargo los números de Kappa de *Q. laurina*, *E. camaldulensis* y *A. acuminata* presentan una similitud muy marcada. Mientras la variable rechazos nos muestra una diferencia estadística entre las cuatro especies corroborando lo presentando en la Figura 30 (c), comparándose entre las cuatro especies que el porcentaje de rechazos en el presente documento tiende a tener una diferencia entre ellas de aproximadamente de un 4 %. El álcali residual presentó diferencia significativa en *P. psudostrobus* (Pp) y *A. acuminata* (Aa).

8.- CONCLUSIONES

La pulpa obtenida a partir de la astilla industrial de *Pinus pseudostrobus* presenta rendimientos del 37.1 al 52.39 %, No. de Kappa del 15.79 al 40.04, rechazos del 4.55 al 25.47 % y álcali del 6.0 al 11.1 g/L.

Las condiciones de operación en el proceso de cocción reportaron un mayor rendimiento y un número de Kappa menor en comparación con resultados de pulpas de especies de Pino reportados anteriormente. Los rendimientos obtenidos son similares a los reportados en la literatura (40 y 50 %), corroborando que el porcentaje que se obtiene tiende a representar el 50 % con respecto a la cantidad de astilla utilizada para cada cocción.

Los números de Kappa (15.79 a 35.22) son similares a los reportados para el género *Pinus*.

Al comparar los valores generados en este trabajo tanto de *Q. laurina* y *E. camaldulensis* presentaron similitudes en las diferentes variables de respuesta, aunque *Q. laurina* fue la mejor.

Los rendimientos en la producción de pulpa a partir de la madera de *Q. laurina* y *E. camaldulensis* empleando condiciones de operación similares generó valores cercanos al 50 %.

Las variables respuesta número de Kappa, rechazos y álcali residual fueron semejantes entre ambas especies. El número de Kappa mostró una diferencia entre ambas especies de 6.

Las cuatro especies presentaron pulpa óptima con características y valores aceptables. Presentando en algunas variables de respuesta valores un tanto similares entre algunas especies.

Mostrándose que *P. pseudostrobus* reporto un valor más alto en la variable número de Kappa al igual que en el álcali residual.

El comparativo de las cuatro especies nos lleva a determinar que la madera de la especie de *A. acuminata* presentó los mejores resultados en las diferentes variables de respuesta, siendo una de estas el rendimiento, mostrando el valor más alto con respecto a *P. pseudostrobus*, *Q. laurina* y *E. camaldulensis*, siendo en la variable número de Kappa uno los valores bajos entre las cuatro especies.

En conclusión, de la especie de *A. acuminata* se obtiene una excelente pulpa trabajando bajo ciertas condiciones presentadas en el presente trabajo de investigación. Corroborando en las tablas que los valores generados a partir de esta especie fueron un tanto más aceptables que las demás especies trabajadas en este documento.

9.- LITERATURA CITADA

Aguilar R.N. (2011) Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. **Ing. Invest. Technol.** 12(2): 189-197

Arias S.R. (2001) Obtención de celulosa de alta blancura a partir de pino y eucalipto. Informe de Memoria de título. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción.

Aguayo M., Teixeira M., Martínez P., Rodríguez J., Pereira, M. (2012) Chemical characteristics and Kraft pulping of tension wood from *Eucalyptus globulus* labill. **Revista Árvore** 36(6): 1163-1171.

Andrade F.M.; Colodette J.L.; Oliveira F.N. (2013) Evaluation of bleachability on pine and eucalyptus kraft pulps. **Revista Cerne** 19(3): 433-439.

Boeykens S. (2006) Procesos para la producción de papel y pulpa. Universidad de Buenos Aires. Encrucijadas, No. 38. s/n de pág.

Chávez G.L. (2014) Propiedades físico-mecánicas de la madera de tres especies de encino (*Quercus candicans* Née, *Quercus laurina* Humb. & Bonpl., *Quercus rugosa* Née) de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP). Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pág. 7-10

Cadena C.E. (2008) Estudio del refinado de pastas de papel utilizando métodos biotecnológicos (enzimas). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela técnica superior de ingeniería industrial y aeronáutica de Terrassa. pág. 1-4

Casey J.P. (1991) Pulpa y Papel Química y Tecnología Química, primer tomo. LIMUSA. México. pág. 210

CNICP (2001) Cámara Nacional de las Industrias de Celulosa y Papel. Memoria estadística. México. s/n pág.

Díaz Vaz J.E.; Ananias R.A.; Valenzuela L.; Torres M.; Rodríguez S. (2012) Madera de compresión en *Pinus radiata* III: propiedades de pulpas Kraft. Maderas. **Ciencia y Tecnología**. 14(3): 275-286.

Espinosa C. (2000) Evaluación de impactos de la producción de celulosa. **Análisis de Políticas Públicas** No.4 pág. 1-12.

Espinoza H.R. (1996) Propiedades físico-mecánicas y caracterización anatómica de la madera de *Alnus acuminata ssp. glabrata* H.B.K. (Aile). Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pág. 6-8

FAO (2014) Estadísticas de productos forestales. División de Economía, Políticas y Productos Forestales. **Departamento Forestal de la FAO**. www.fao.org/forestry/statistics/es/

FAO. 2007. FAOSTAT on-line statistical service. Available online at: <http://faostat.fao.org>.

Gomes de la Silva Júnior.;Vieira O.; Zattoni S. y Urga R. (1999) Aditivos para pulpaje alcalino (Experiencia industrial en la producción de pulpa no blanqueada de pino). **Artículo técnico. ATCP Chile** pág. 25-30

Gomes G.A; Trugilo P.F.; Colodette J.L.; Lima J.T.; Moreira J.R.; Gomide J.L. (2009) Avaliacao da madeira e da polpacao Kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore** 33(6): 1179-1185

Juacida P.R.; Rodriguez S.S.; Torres U.M. (2002) Composición química, obtención de pulpa Kraft y su evaluación papelera en castaño, ciprés y encino. **Bosque** 23(1): 125-130

Kringstad, K.P., (1984) Spend liquors from pulp bleaching. **Environmental Science and Technology** 18, 2403 – 2410.

Kirk, T.K. and Cullen, D., (1998) Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry (eds Young, R.A. and Akhtar, M.), John Wiley & Sons, Inc, New York. Tappi Press, Atlanta. pág. 279-308

Libby, E.C. (1980) Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Primer tomo. CECSA. México. pág. 175-179

Mariani A.S. y Torres U.M. (2004) Análisis químico cuantitativo y condiciones de pulpage kraft de colihue: **Parte I Bosque** 25(1): 117-122.

Mazzeo N.; Panario D.; Rodriguez R.; Altesor A. (2008) La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres. **Ecología austral**. 18(3). s/n pág.

Montgomery, D.C. (1991) Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamerica. México. pág. 301-314

Ortega M.J. (2005) Obtención de pulpa Kraft a partir de madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pág. 2-7

Recas E.; Arbat G.; Vilaseca.; Mutjé P.; Delgado A.M. (2015). Aplicación de celulosa nanofibrilada, en masa y superficie, a la pulpa mecánica de muela de piedra: una sólida alternativa al tratamiento clásico de refinado. *Maderas. Ciencia y Tecnología*. 17(2): 293-304

Rigatto A.P.; Dedecek R.A.; Matos M.J. (2004) Influencia de los atributos sobre la calidad de madera de *Pinus taeda* para la producción de celulosa kraft. **Revista Árvore** 28(2): 267-273.

Rodríguez C.; Medrano H.; Rocha N.; Gallegos A.; Rosales M.; González L.A. (2005) Tratamiento biológico de madera para eliminar pitch en la producción de celulosa. **Madera y Bosques** 11(1): 19-27.

Rodríguez S. y Torres M. (1992) Obtención de pulpa Kraft a partir de *Pinus patula*, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* crecidos en Chile. **INFOR** 6 (1) 53.

Sánchez G.A. (2008) Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos en México. *Madera y Bosques*. 14 (1): 107-120.

Sanjuán Dueñas, R. (1993) Estándares de laboratorio para la industria de celulosa. Instituto de Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara Jalisco, México. pág. 39- 50

Sanjuán Dueñas, R. (1997) Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Editorial AGATA. pág. 87 Guadalajara, Jalisco México. pág. 143-176.

Shimizu E.; Velez R.J.; Zapata D.P.; Villalba L.L. (2009) Relación entre degradación de colorantes y oxidación de lignina residual causados por *Ganoderma applanatum* y *Pycnoporus sanguineus* en el licor negro kraft. **Revista Ciencia y Tecnología**. 12. s/n pág.

Silva D.J.; Gomide L.J.; Colodette J.L. (2004) Utilización de surfactantes en pulpa kraft de madera de eucalipto en la remoción de extractivos lipofílicos. *Revista Árvore* 28(6): 911-917.

SIRE. Paquetes tecnológicos. Conafor y Conabio. pág. 1-7

Test Methods (2000) TAPPI Press. Atlanta. s/n de pág.

Torres, L. F.; Melo, R.; Colodette, J.L. 2005. Pulpa kraft blanqueada a partir de *Pinus tecunumanii*. **Bosque**. 26 (2): 115-122.

10.- ANEXOS

1er. Artículo (Publicado en Revista Madera y Bosques).

Calidad de pulpa Kraft de *Pinus pseudostrobus* L. obtenida a partir de astilla industrial

Tabla 13.- ANOVA de Rendimiento de pulpa de *Pinus pseudostrobus* L.

Especie	Fuente de variación	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Temperatura	14.3471	0.77	0.3885
	Tiempo	0.13460	0.01	0.9329
	Carga	5.68555	0.31	0.5853
	Temperatura/tiempo	0.87422	0.05	0.8301
	Temperatura/carga	42.968	2.32	0.0370
	Tiempo/carga	143.533	7.78	0.0110

Tabla 14.- ANOVA de Número de Kappa de pulpa de *Pinus pseudostrobus* L.

Especie	Fuente de variación	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Temperatura	73.8705	2.98	0.0984
	Tiempo	0.3257	0.01	0.9098
	Carga	36.5837	1.47	0.2375
	Temperatura/tiempo	0.2162	0.01	0.9265
	Temperatura/carga	25.2506	1.02	0.3240
	Tiempo/carga	48.93	1.97	0.1742

Tabla 15.- ANOVA de Rechazos de pulpa de *Pinus pseudostrobus* L.

Especie	Fuente de variación	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Temperatura	294.373	9.17	0.0062
	Tiempo	0.2634	0.01	0.9286
	Carga	1.7764	0.06	0.8162
	Temperatura/tiempo	461.39	14.37	0.0010
	Temperatura/carga	35.1649	1.10	0.3067
	Tiempo/carga	68.7241	2.14	0.1576

Tabla 16.- ANOVA de Álcali Residual de pulpa de *Pinus pseudostrobus* L.

Especie	Fuente de variación	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Temperatura	7.2786	3.12	0.0914
	Tiempo	0.0017	0.01	0.9784
	Carga	1.3562	0.58	0.4541
	Temperatura/tiempo	0.3025	0.13	0.7223
	Temperatura/carga	0.4225	0.18	0.6747
	Tiempo/carga	0.1225	0.05	0.8210

2do. Artículo (enviado a Revista Bosque).

Comparación de calidad de pulpa Kraft de *Quercus laurina* Humb & Bonpl y *Eucalyptus camaldulensis* Dehn obtenida a partir de astilla industrial

Tabla 17.- ANOVA de pulpa de *Quercus laurina*.

Fuente de variación	Rendimiento			Número de Kappa			Rechazos			Álcali residual		
	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P
Temperatura	7.225	0.39	0.5381	100.706	10.65	0.0037	6.851	0.88	0.3583	0.0193	0.01	0.9291
Tiempo	33.424	1.81	0.1926	12.613	1.33	0.2612	1.635	0.21	0.6511	3.9668	1.66	0.2117
Carga	143.533	7.78	0.011	140.565	14.86	0.0009	85.833	11.05	0.0032	5.547	2.32	0.1426
Temp. /tiempo	20.295	1.1	0.3061	23.6196	2.5	0.129	3.3948	0.44	0.5157	1.0506	0.44	0.5146
Temp. /carga	0.0006	0.01	0.9954	33.0625	3.29	0.0756	3.6768	0.47	0.499	0.0156	0.01	0.9363
Tiempo/carga	23.961	1.3	0.2672	31.6969	3.35	0.0814	45.8668	5.91	0.0241	0.2756	0.12	0.7376

Tabla 18.- Anova de pulpa de *Eucalyptus camaldulensis*.

Fuente de variación	Rendimiento			Número de Kappa			Rechazos			Álcali residual		
	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P
Temperatura	42.4436	2.61	0.1202	26.2991	2.22	0.1503	34.9302	3.43	0.0774	16.7525	1.75	0.1996
Tiempo	2.1131	0.13	0.7217	0.7732	0.07	0.8006	38.6628	3.8	0.0641	1.31001	0.14	0.715
Carga	0.0194	0.02	0.9727	141.179	11.93	0.0023	0.2076	0.02	0.8877	25.728	2.69	0.1154
Temp. /tiempo	3.7636	0.23	0.6349	15.1321	1.28	0.2704	51.0868	5.02	0.0355	6.0025	0.63	0.437
Temp. /carga	3.9601	0.24	0.6263	0.0441	0.01	0.9519	76.8691	7.56	0.0117	0.4225	0.04	0.8356
Tiempo/carga	2.9929	0.18	0.6718	0.3136	0.03	0.8722	154.07	15.14	0.0008	3.0625	0.32	0.5775

3er. Artículo (enviado a Revista Chapingo).

Análisis comparativo de la calidad de pulpa Kraft optimizadas de *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn y *Alnus acuminata* H.B.K.

Tabla 19.- Anova de pulpa de *Pinus pseudostrobus* L., *Quercus laurina* Humb & Bonpl, *Eucalyptus camaldulensis* Dehn y *Alnus acuminata* H.B.K.

Superficie	Rendimiento			Número de Kappa			Rechazos			Álcali residual		
	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P	Cuadrado medio	ratio - F	Valor - P
Entre grupos	12.1302	2.13	0.2389	49.0349	9.77	0.0259	31.3304	101.9 2	0.0003	118.635	49.20	0.0013
Con grupos	5.69041			5.02019			0.307413			2.41125		